

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL



JUDUL

**APLIKASI KONSORSIUM MIKROORGANISME DAN TUMBUHAN
FITOREMEDIATOR MERKURI (Hg) UNTUK REKLAMASI LAHAN
PASCA PENAMBANGAN EMAS DI KALIMANTAN TENGAH**

TIM PENELITIAN

Dr. Liswara Neneng, M.Si. (Peneliti Utama)
Dewi Saraswati, S.P., M.P. (Anggota)

**Dibiayai Berdasarkan Surat Perpanjangan Penugasan dalam Rangka
Pelaksanaan Hibah Stratgis Nasional No.
409/SP2H/PL/Dit.Litabmas/IV/2011 Tanggal 14 April 2011**

LEMBAGA PENELITIAN
UNIVERSITAS PALANGKARAYA
SEPTEMBER 2011

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR HIBAH PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL

1. Judul Penelitian : Aplikasi Konsorsium Mikroorganisme dan Tumbuhan Fitoremediator Merkuri (Hg) untuk Reklamasi Lahan Pasca Penambangan Emas Di Kalimantan Tengah
2. Ketua Peneliti :
 - a. Nama lengkap : Dr. Liswara Neneng, M.Si.
 - b. Jenis Kelamin : Perempuan
 - c. NIP : 19680128 199403 2 002
 - d. Jabatan Struktural : Ketua Program Studi Pendidikan Biologi
 - e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - f. Fakultas/Jurusan : FKIP / Pendidikan MIPA
 - g. Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian Universitas Palangkaraya
 - h. Alamat : Kampus Unpar Tunjung Nyahu
Jl. H. Timang Kotak Pos 2 PLKUP
Palangka Raya. 73111.
 - i. Telepon : 0536-29117
 - j. Alamat Rumah : Jl. Sapan IIA No. 216, Palangka Raya
 - k. Telepon : 085252763573
3. Jangka Waktu Penelitian : 2 (dua) Tahun (seluruhnya)
Usulan ini adalah usulan tahun ke 2
4. Pembiayaan :
 - a. Jumlah yang disetujui Dikti tahun I : Rp. 87.000.000,-
 - b. Jumlah yang disetujui Dikti tahun II : Rp. 80.000.000,-



Mengetahui:
Dekan FKIP,

Drs. Netto W.S Rahan, M.Si
NIP. 19580909 198403 1 003

Palangka Raya, 28 Oktober 2011

Ketua Peneliti,

Dr. Liswara Neneng, M.Si.
NIP. 19680128 199403 2 002



Menyetujui:
Ketua Lemlit UNPAR

Prof. Dr. Nyoman Sudjana, M.Sc.
NIP. 19620218 198703 1 002

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan penambangan emas di Kalimantan Tengah sudah berlangsung selama puluhan tahun. Lokasi penambangan selalu berpindah-pindah, dan areal bekas penambangan emas ditinggalkan dan dibiarkan dalam keadaan rusak (Distamben Kalteng, 2003). Sebagian besar penambang emas (85,7%), menggunakan merkuri dalam proses ekstraksi emas, dan membuangnya langsung ke lingkungan baik di darat maupun di sungai (Neneng, 2007). Dampak yang ditimbulkan berupa rusaknya kelestarian lingkungan dan ekosistem secara umum. Kerusakan tanah yang terjadi disebabkan oleh kegiatan penggalian tanah, dan juga karena penggunaan bahan kimia berbahaya yakni merkuri yang merupakan bahan utama dalam proses ekstraksi emas (BAPEDALDA Prov. Kalteng, 2002).

Data terbaru memperlihatkan bahwa pada tanah dari daerah pasca penambangan emas di daerah Kalimantan Tengah, yang sudah tidak digunakan selama beberapa tahun, masih ditemukan pencemaran merkuri berkisar antara 2,4 ppm hingga 4,17 ppm (Neneng, 2009). Pencemaran merkuri pada tanah, tidak hanya berbahaya bagi manusia dan makhluk hidup lainnya, juga menyebabkan tidak banyak jenis tumbuhan yang mampu tumbuh di dalamnya.

Hasil penelitian sebelumnya, telah ditemukan 3 jenis bakteri dari golongan Gram negatif, yang potensial untuk mengurangi tingkat pencemaran merkuri (Hg) di media cair. Kemampuan ketiga isolat ini berkisar antara 15 - 25 ppm (Neneng, 2007-2009). Tumbuhan yang potensial untuk fitoremediasi merkuri juga telah ditemukan sebanyak 21 Jenis, dari 8 lokasi areal pasca penambangan emas di 3 Kabupaten di Kalimantan Tengah. Tumbuh-tumbuhan yang ditemukan sebanyak 52,38% dari jenis rumput, 23,81% dari jenis perdu, 14,29% dari jenis pohon, dan 9,52% dari jenis paku-pakuan. Jenis tumbuhan yang memiliki kemampuan paling tinggi untuk mengakumulasi merkuri adalah dari jenis rumput sampahiring (*Cyperus Sp.*), yakni sebesar 5,14 ppm (Neneng, 2009).

Aplikasi konsorsium bakteri dan tumbuhan fitoremediator merkuri (Hg), memberikan perbaikan pada kondisi tanah, ditinjau dari beberapa parameter yakni: penurunan kadar Hg, peningkatan pH tanah, peningkatan unsur hara tanah, dan peningkatan populasi mikrobial tanah. Aplikasi konsorsium mikroorganisme yang efektif untuk bioremediasi merkuri (Hg) adalah gabungan isolat *Pseudomonas sp* dan *Klebsiella sp.* berdasarkan data dari beberapa parameter penelitian, diketahui bahwa jenis tumbuhan fitoremediator yang dapat berasosiasi secara efektif dengan konsorsium mikroorganisme adalah karamunting (*Melastoma, sp.*), yang diikuti tumbuhan sampahiring (*Cyperus, sp.*). Tidak ada perbedaan efektivitas antara metode aplikasi konsorsium mikroorganisme secara langsung maupun tidak langsung pada akar terhadap kandungan Hg maupun kadar pH tanah (Neneng, 2010).

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian lanjutan tahun kedua ini bertujuan untuk menemukan:

- 1) Paket konsorsium mikroorganisme yang efektif berasosiasi dengan tumbuhan fitoremediator pada skala pilot di lapangan sehingga berpotensi digunakan sebagai agen dekontaminasi merkuri dan bahan untuk revegetasi pada lahan kritis pasca penambangan emas;
- 2) Metode reklamasi lahan pasca penambangan emas secara biologis yang terbukti efektif untuk mengurangi pencemaran merkuri pada lahan, menyuburkan tanah, sekaligus melakukan revegetasi lahan.
- 3) Periode yang tepat untuk pemanfaatan lahan untuk penanaman jenis-jenis tumbuhan budidaya.

1.3 Urgensi Penelitian

Lahan pasca penambangan emas mengalami kerusakan akibat penggalian dan penggunaan merkuri sebagai bahan untuk ekstraksi emas. Jika tidak segera ditangani akan dapat menjadi ancaman yang membahayakan bagi makhluk hidup termasuk manusia yang ada di sekitarnya, karena senyawa ini dapat bertahan hingga puluhan tahun di lingkungan, dapat masuk ke dalam rantai makanan, dan dapat mengalami translokasi serta mencemari areal yang lain. Degradasi alami tidak dapat mengeliminasi dari lingkungan secara efektif.

Reklamasi lahan pasca penambangan emas, tidak cukup dengan proses revegetasi saja, karena masih mengandung merkuri yang berbahaya bagi makhluk hidup. Tumbuh-tumbuhan maupun komponen biotik lainnya yang mampu hidup pada areal yang masih tercemar merkuri sangat terbatas, karena daya toleransi makhluk hidup yang rendah terhadap merkuri.

Latar belakang ini yang mendorong pentingnya suatu solusi berupa metode yang menggabungkan antara proses dekontaminasi merkuri sekaligus revegetasi lahan. Aplikasi penggabungan metode bioremediasi menggunakan konsorsium mikroorganisme dan tumbuhan fitoremediator yang potensial untuk mengurangi tingkat pencemaran merkuri di lingkungan sangat dibutuhkan, agar dapat mempercepat terjadinya proses dekontaminasi sekaligus pemulihan kondisi lahan-lahan di wilayah daratan yang rusak akibat penambangan emas.

BAB II. STUDI PUSTAKA DAN ROADMAP

A. STUDI PUSTAKA

1) Bahaya Pencemaran Merkuri (Hg)

Merkuri atau air raksa (Hg) banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang kehidupan, seperti untuk komponen listrik, baterai, ekstraksi emas dan perak, pembuatan amalgam, gigi palsu, senyawa anti karat, fotografi, industri kimia yang memproduksi gas klorin dan asam klorida, pestisida, isi termometer, barometer, aerometer, kontak elektrik, dan berbagai peralatan fisik-kimia lainnya (Goldwater, 1972; Effendi, 2003). Merkuri dapat membentuk amalgam dengan kebanyakan logam, termasuk emas. Afinitas merkuri terhadap emas sangat kuat (Holland, 1980). Ikatan antara emas dan merkuri menyebabkan emas larut dalam merkuri, dan kemudian dapat dipisahkan dengan mudah melalui cara pemanasan (Ban-Hg-Wg, 2006). Sifat seperti ini menyebabkan merkuri banyak digunakan untuk memisahkan emas dari logam-logam yang lain (Brepohi, 2006).

Paparan merkuri dalam berbagai bentuk, membahayakan kesehatan manusia. Toksisitas merkuri dapat menyebabkan kerusakan hingga tingkat gen. Hasil-hasil penelitian terbaru memperlihatkan bahwa merkuri dapat menyebabkan: perubahan sandi genetik, terjadinya polimorfisme spesifik pada ekson 4 dari gen CPOX4 (Woods *et al.*, 2005), menginduksi perubahan ekspresi gen dalam sel-sel kanker hati manusia (HepG2). Pada tingkat seluler merkuri berinteraksi dengan gugus-gugus sulfidril pada

protein dan enzim, merusak DNA, dan mempercepat siklus sel dan apoptosis (Tchounwou & Avensu, 2006).

2) Bioremediasi Merkuri (Hg)

Bioremediasi lingkungan merupakan suatu proses peningkatan mutu lingkungan yang melibatkan makhluk hidup, seperti tumbuh-tumbuhan (fitoremediasi), hewan (zooremediasi), dan mikroorganisme (remediasi mikrobial) (Gupta *et al.*, 2003). Bioremediasi didefinisikan sebagai suatu proses degradasi limbah organik secara biologis di bawah kondisi terkendali, menjadi bentuk limbah yang kurang toksik (Vidali, 2003). Bioremediasi juga dapat didefinisikan sebagai proses yang menggunakan mikroorganisme atau enzimnya untuk mengembalikan kondisi lingkungan yang telah diubah oleh kontaminan, ke kondisi awalnya (Nabir, 2003).

Pendekatan-pendekatan bioremediasi yang baru didasarkan pada kemajuan dalam biologi molekuler dan rekayasa proses. Bioremediasi menjadi pendekatan yang sesuai untuk memproses bahan buangan biologis dan membuang patogen mikrobial. Bioremediasi juga berperan untuk mengurangi toksisitas logam berbahaya dan bahan-bahan radioaktif atau untuk merecoveri logam agar dapat digunakan kembali (Bonaventura dan Johnson, 1997). Tujuan bioremediasi (bersama dengan pendekatan fisik dan kimiawi untuk remediasi) adalah untuk mengurangi sejumlah senyawa kimia berbahaya dan mengubahnya menjadi bentuk yang lebih bermanfaat (Nascimento & Souza, 2003).

Bioremediasi biasanya memanfaatkan mikroorganisme (bakteri, fungi, khamir, dan algae), dan juga beberapa tumbuhan tingkat tinggi (Semple dalam Widyati, 2004). Bioremediasi lebih banyak menggunakan mikroorganisme dibandingkan dengan tumbuh-tumbuhan (Vidali, 2001). Banyak mikroorganisme mampu memanfaatkan polutan lingkungan sebagai sumber makanan untuk menghasilkan energi, dengan cara mendegradasi polutan dari bentuk energi yang lebih tinggi ke tingkat yang lebih rendah. Melalui cara ini limbah dapat diabsorpsi dan dipecah secara internal, atau dapat didegradasi secara eksternal dengan cara mensekresikan enzim, selanjutnya di absorpsi dan dimanfaatkan (Bonaventura dan Johnson, 1997).

Beberapa mikroorganisme memiliki kemampuan untuk memanfaatkan kontaminan lingkungan sebagai sumber makanan dan sekaligus untuk tumbuh dan berkembangbiak di areal kontaminan (Vidali, 2001). Polutan tersebut digunakan sebagai sumber energi, sumber karbon atau akseptor elektron untuk metabolisme mikroorganisme yang bersangkutan. Beberapa bakteri, khamir dan algae mampu mengakumulasi ion logam dalam sel mereka beberapa kali lipat dari konsentrasi logam di lingkungan sekitarnya (Semple dalam Widyati, 2004). Peristiwa mutasi dan seleksi turut menghasilkan evolusi pada strain mikroorganisme yang mampu beradaptasi untuk memanfaatkan kontaminan lingkungan, akibatnya mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk memetabolisme kontaminan spesifik, dapat diperoleh pada lokasi yang terkontaminasi (Vidali, 2001).

Mikroorganisme yang digunakan bisa merupakan isolat indigenus maupun yang diisolasi dari tempat lain (Vidali, 2001). Mikroorganisme ini dapat diisolasi dari populasinya dan dikulturkan untuk diinokulasikan pada tempat lain atau untuk digunakan dalam bioreaktor. Hal tersebut berlawanan dengan seleksi secara genetis dari mikroorganisme potensial yang terdapat dari lingkungan alami. Sejumlah peneliti memusatkan penelitian dalam pengembangan rekayasa genetika dari strain mikroorganisma potensial, dengan cara memanipulasi sekuens DNA untuk meningkatkan potensinya. Meskipun cara ini sangat menjanjikan, namun penggunaannya untuk bioremediasi masih membutuhkan studi lebih lanjut, terkait dengan issue keamanan dan kandungan bahan genetisnya (Alpert dalam Souza, 2003).

Teknologi bioremediasi menggunakan mikroorganisme bertujuan untuk mengurangi, menghilangkan atau mengubah produk kontaminan yang terdapat di tanah, sedimen, air, dan udara (Nabir, 2003). Beberapa keuntungan bioremediasi antara lain: relatif lebih murah dan menguntungkan dibandingkan dengan metode kimia dan fisika dalam menanggulangi limbah dan polutan lingkungan; merupakan proses alami, dan hasil prosesnya bukan merupakan produk yang berbahaya (Anas, 1997).

3) Fitoremediasi Merkuri (Hg)

Phyto asal kata Yunani/greek *phyton* yang berarti tumbuhan/tanaman (plant), remediation asal kata Latin *remediare* (*to remedy*) yaitu memperbaiki/ menyembuhkan atau membersihkan sesuatu. Jadi fitoremediasi (phytoremediation) merupakan suatu sistim dimana tanaman tertentu yang bekerjasama dengan mikroorganisme dalam

media (tanah, koral dan air) dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi.

Fitoremediasi adalah proses bioremediasi yang menggunakan berbagai tanaman untuk menghilangkan, memindahkan, dan atau menghancurkan kontaminan dalam tanah dan air bawah tanah. Konsep penggunaan tanaman untuk penanganan limbah dan sebagai indikator pencemaran udara dan air sudah lama ada, yaitu fitoremediasi dengan sistem lahan basah, lahan alang-alang dan tanaman apung. Selanjutnya konsep fitoremediasi berkembang untuk penanganan masalah pencemaran tanah.

Adanya batas konsentrasi polutan yang dapat ditolelir oleh tanaman, menyebabkan teknik fitoremediasi biasanya menggunakan jenis-jenis tanaman yang toleran terhadap polutan tertentu. Konsentrasi polutan yang tinggi melebihi batas toleran menyebabkan tanaman mengalami stres dan akhirnya mati, pada kondisi seperti ini diperlukan pengenceran atau dikombinasikan dengan metode lain.

Tanaman dapat membersihkan polutan dari tanah, air maupun udara, dengan berbagai cara. Tanaman dapat merusak atau merombak polutan organik, maupun menyerap dan menstabilisasi logam polutan. Dalam hal ini polutan organik dapat dibersihkan oleh tanaman melalui satu mekanisme atau kombinasi proses-proses fitodegradasi, rizodegradasi, dan fitovolatilisasi. Polutan organik seperti *crude oil*,

pelarut, dan *polyaromatic hydrocarbons* (PAHs) telah dibuktikan dapat diatasi dengan teknik ini. Sedang polutan logam berat dan unsur radioaktif dapat dibersihkan oleh tanaman melalui proses fitoekstraksi/fitoakumulasi, rizofiltrasi, dan atau fitostabilisasi (Hofman & Anne. 2006).

1. Biodegradasi dalam rizosfer

Pada proses ini, tanaman mengeluarkan senyawa organik dan enzim melalui akar (disebut eksudat akar), sehingga daerah rizosfer merupakan lingkungan yang sangat baik untuk tempat tumbuhnya mikroba dalam tanah. Mikroba di daerah rizosfer akan mempercepat proses biodegradasi kontaminan.

2. Fitostabilisasi

Pada proses stabilisasi, berbagai senyawa yang dihasilkan oleh tanaman dapat mengimobilisasi kontaminan, sehingga diubah menjadi senyawa yang stabil. Tanaman mencegah migrasi polutan dengan mengurangi *runoff*, erosi permukaan, dan aliran air bawah tanah.

3. Fitoakumulasi (fitoekstraksi)

Akar tanaman dapat menyerap kontaminan bersamaan dengan penyerapan nutrient dan air. Massa kontaminan tidak dirombak, tetapi diendapkan di bagian trubus dan daun tanaman. Metode ini digunakan terutama untuk menyerap limbah yang mengandung logam berat.

4. Rizofiltrasi (Sistem hidroponik untuk pembersihan air)

Rizofiltrasi prinsipnya sama dengan fitoakumulasi, tetapi tanaman yang digunakan untuk membersihkan ditumbuhkan dalam media cair (sistem hidroponik). Sistem ini dapat digunakan untuk mengolah air bawah tanah secara *ex-situ*. Air bawah tanah dipompa ke permukaan untuk diolah menggunakan tanaman. Sistem hidroponik memerlukan media cair buatan yang dikondisikan seperti dalam tanah, misalnya diberi campuran pasir dan mineral perlit, atau vermikulit. Setelah tanaman jenuh dengan kontaminan, kemudian dipanen dan diproses lanjut.

5. Fitovolatilisasi

Dalam proses ini, tanaman menyerap air yang mengandung kontaminan organik melalui akar, diangkut ke bagian daun, dan mengeluarkan kontaminan yang sudah didetoksifikasi ke udara melalui daun.

6. Fitodegradasi

Kontaminan organik diserap ke dalam tanaman. Dalam proses metabolisme, tanaman dapat merombak kontaminan di dalam jaringan tanaman menjadi molekul yang tidak bersifat toksis.

4) Aplikasi Bioremediasi dan Fitoremediasi Merkuri

Cara aplikasi bioremediasi di lapangan ada tiga macam, yakni teknik bioremediasi: *in situ*, menggunakan biofilter, dan menggunakan bioreaktor. Teknik *in situ* adalah perlakuan dengan cara menempatkan inokulan secara langsung pada daerah yang terkontaminasi, selanjutnya dapat dilengkapi dengan pengayaan nutrisi dan manipulasi kondisi setempat (misalnya memadukan aerasi pada permukaan dengan modifikasi pH). Teknik menggunakan biofilter terutama untuk bioremediasi udara. Biofilter dirancang sebagai saringan organik yang berperan sebagai sebuah medium kultur bagi mikroorganisma, dan bisa juga enzim yang diimobilisasi. Biofilter berperan untuk mengumpulkan polutan dan sekaligus mendegradasinya ke bentuk yang tidak toksik. Katagori yang ketiga adalah bioreaktor. Ini merupakan teknologi yang paling maju dari bioremediasi lingkungan. Bioreaktor dirancang secara khusus, dan mampu untuk melakukan bioremediasi dalam waktu yang lebih cepat dan dalam kondisi yang lebih terkendali di bandingkan dengan dua cara sebelumnya (Bonaventura dan Johnson, 1997).

Fitoremediasi dapat dilakukan secara *in situ* (langsung di tempat terjadinya pencemaran), maupun secara *ex situ* atau menggunakan kolam buatan yang merupakan bioreaktor besar untuk penanganan limbah. Tanaman dapat digunakan secara langsung dalam bentuk alaminya lengkap terdiri bagian akar, batang, dan daun, maupun dalam bentuk kultur jaringan tanaman.

B. ROADMAP PENELITIAN

a. Penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya:

Beberapa data yang dikumpulkan sebelumnya terkait cara penggunaan merkuri oleh para penambang emas, diperoleh informasi bahwa sebanyak 85,7% penambang emas menggunakan merkuri dalam proses ekstraksi emas, dan membuangnya langsung ke lingkungan baik di darat maupun di sungai (Neneng, 2006: Analisis Cara Penggunaan Air Raksa (Merkuri) oleh Penambang Emas di DAS Kahayan Kalimantan Tengah). Selanjutnya dicari solusi untuk mengurangi pencemaran merkuri di lingkungan, menggunakan metode bioremediasi. Hasil yang diperoleh berupa temuan jenis-jenis mikroorganisme (bakteri) yang mampu mengurangi tingkat pencemaran merkuri di media cari (Neneng, 2006: Karakterisasi dan Identifikasi Bakteri Pereduksi Merkuri dari Sungai Kahayan, Kalimantan Tengah; dan Disertasi 2007: Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Efektivitas Bioremediasi Merkuri oleh Isolat Bakteri dan Sosialisasi Aplikasinya dalam Bioreaktor Sederhana kepada Penambang Emas di DAS Kahayan Kalimantan Tengah).

Mikroorganisme yang potensial untuk bioremediasi merkuri juga digali melalui kegiatan penelitian yang berjudul: Eksplorasi Mikroorganisme Rhizosfer Potensial untuk Bioremediasi Lahan Tercemar Merkuri (Hg) pada Areal Penambangan Emas di Kalimantan Tengah (Hibah Penelitian Strategis Nasional, Sumber Dana DIPA Universitas Palangkaraya, 2009, Ketua). Hasil yang diperoleh berupa adanya beberapa jenis bakteri rhizosfer yang mampu tumbuh dan mengurangi tingkat pencemaran

merkuri hingga kadar 25 ppm. Selain mikroorganisme, juga ditemukan beberapa jenis tumbuhan yang potensial untuk melakukan fitoremediasi merkuri (Hg).

Sosialisasi dan Implementasi Cara Eliminasi Merkuri (Hg) dari Lingkungan Menggunakan Metode Bioremediasi dalam Bioreaktor Sederhana Kepada Penambang Emas di Kabupaten Gunung Mas Kalimantan Tengah (Penelitian Program Penerapan Ipteks, didanai DP2M DIKTI, 2009, sebagai Ketua). Analisis Peranan Koenzim dan Kofaktor Ion Logam dalam Meningkatkan Aktivitas Bioremediasi Merkuri (Hg) oleh *Pseudomonas* sp. dan *Klebsiella* sp. Isolat Indigenus Sungai Kahayan Kalimantan Tengah (Hibah Fundamental, Dana DIKTI 2010, Ketua). Aplikasi konsorsium bakteri dan tumbuhan fitoremediator merkuri (Hg) untuk reklamasi lahan pasca penambangan emas di Kalimantan Tengah (Penelitian Tahun I, Hibah Stranas Dikti, 2010).

b. Penelitian yang akan dilaksanakan:

Pada penelitian tahun kedua ini, mikroorganisme untuk bioremediasi merkuri dan tumbuh-tumbuhan untuk fitoremediasi merkuri, yang telah diuji potensinya pada skala laboratorium, akan diaplikasikan pada plot-plot percobaan yang ada di daerah berpasir pasca penambangan emas. Fokus penelitian ini adalah untuk menemukan metode reklamasi lahan pasca penambangan emas secara biologis yang terbukti efektif untuk mengurangi pencemaran merkuri pada lahan, menyuburkan tanah, sekaligus melakukan revegetasi lahan. Tujuan jangka panjang adalah terjadinya pemulihan kondisi lahan pasca penambangan emas, yang dapat menunjang kelestarian makhluk hidup yang ada di sekitarnya.

c. Rencana arah penelitian selanjutnya:

Jika hasil penelitian dan uji coba pada skala pilot di lapangan ini memperlihatkan terjadinya pemulihan kondisi lahan, yang ditinjau dari berbagai parameter, maka aplikasi penggunaan metode gabungan bioremediasi dan fitoremediasi untuk pemulihan lahan pasca penambangan emas ini akan terus dioptimasi, sehingga layak dimanfaatkan untuk memulihkan lahan kritis dengan kondisi tidak jauh berbeda, pada areal yang lainnya.

BAB III. METODE PENELITIAN

Penelitian tahun kedua ini merupakan uji skala pilot di lapangan. Bahan penelitian diambil dari hasil penelitian terkait isolat bakteri potensial untuk bioremediasi merkuri, dan jenis-jenis tumbuhan yang potensial untuk proses fitoremediasi merkuri. Penelitian ini terdiri dari 3 kegiatan, yakni: 1) implementasi konsorsium mikroorganisme yang berasosiasi dengan tumbuhan fitoremediator pada skala pilot di lapangan; 2) menguji efektivitas beberapa metode reklamasi lahan berpasir pasca penambangan emas, yakni menggunakan metode: a. pengayaan mikroorganisme tanpa seresah; dan b. Pengayaan mikroorganisme + penambahan seresah (sumber karbon); 3) uji coba keberhasilan penanaman salah satu tumbuhan budidaya pada plot percobaan, setelah 3 bulan aplikasi fitoremediator berlangsung. Parameter yang diamati berupa: 1) Peningkatan unsur hara tanah; 2) Peningkatan populasi mikrobial tanah; 3) Penurunan tingkat pencemaran merkuri (Hg) pada areal implementasi; 4) Peningkatan jumlah komponen biotik pada lokasi perlakuan; 5) Peningkatan kesuburan tumbuhan fitoremediator yang diaplikasikan; 6) Pertumbuhan salah satu jenis tanaman budidaya. Analisis data dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Pengukuran unsur hara tanah dan kadar merkuri menggunakan metode spektrofotometri, dengan alat AAS. Jumlah populasi mikrobial diukur menggunakan metode mikrobiologis. Jumlah komponen biotik diukur menggunakan metode penghitungan populasi secara biologis.

A. Subjek Penelitian

Isolat mikroorganisme dan tumbuhan fitoremediator yang potensial untuk mengurangi tingkat pencemaran merkuri di lingkungan.

B. Lokasi Penelitian

1. Uji efektivitas asosiasi konsorsium mikroorganisme dan tumbuhan fitoremediator merkuri; uji populasi mikrobial dan komponen biotik tanah dilakukan di Laboratorium Pendidikan Biologi Universitas Palangkaraya.
2. Analisis unsur hara tanah dilaksanakan di Laboratorium Dasar dan Analitik Universitas Palangkaraya.
3. Pengukuran konsentrasi merkuri pada tanah maupun sampel cair dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Propinsi Tk. I Kalimantan Tengah.
4. Aplikasi konsorsium mikroorganisme dan tumbuhan fitoremediator merkuri dilakukan di daerah Hampalit, Kabupaten Katingan, Kalimantan Tengah, yang didominasi oleh areal lahan kritis berpasir pasca penambangan emas seluas 200 km². Jarak wilayah ini dari kota Palangka Raya sejauh 100 km. Pada areal ini akan dibuat 10 plot lahan uji skala pilot yang masing-masing berukuran 25 m². Pada masing-masing plot akan ditanami sejumlah 50 bibit tumbuhan fitoremediator.

C. Alat dan Bahan

1. Alat-alat:

Plastik tebal berperekat, laminar air flow, otoklaf, oven, cawan Petri, tabung reaksi, pipet, inkubator, oven, lemari es, mikroskop, hemositometer, pH meter, jarum inokulasi, neraca elektrik, Beaker glass, labu Erlenmeyer, lampu spiritus, gelas ukur, labu ukur, satu set alat AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometer*) Merk Shimadzu AA-6200.

2. Bahan-bahan:

Isolat mikroorganisme yang telah diuji potensinya untuk melakukan bioremediasi merkuri, yakni berupa:

- a. Isolat bakteri indigen sungai Kahayan Kalimantan Tengah (*Klebsiella* sp., *Pseudomonas* sp.).
- b. Isolat bakteri rhizosfer potensial yang diisolasi dari lahan pasca penambangan emas (*Salmonella*, sp.).
- c. Kapas, masker, sarung tangan, aluminium foil, larutan standar Hg, aquades, HCl, NaOH, media: Luria Bertani Broth (LB); Luria Agar (LA); , alkohol 70%, spiritus, HgCl₂ produksi Merck Jerman.

D. Prosedur Pengambilan Data

1. Aplikasi gabungan konsorsium mikroorganisme dan tumbuhan fitoremediator merkuri di lapangan:

Uji Skala Pilot dilakukan pada salah satu areal pasca penambangan emas di Kalteng, yakni areal penambangan di daerah Hampalit, Kabupaten Katingan. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada luasnya areal yang mengalami kerusakan, yakni 200 km², dan parahnya tingkat kerusakan ditinjau dari parameter fisik, kimiawi, dan biologis. Kondisi lokasi ini dibutuhkan untuk dapat mengambil kesimpulan terkait keberhasilan aplikasi secara umum.

Parameter keberhasilan aplikasi ditinjau dari beberapa aspek, yakni:

- a. Peningkatan unsur hara tanah.
- b. Peningkatan populasi mikrobial tanah.
- c. Penurunan tingkat pencemaran merkuri (Hg) pada areal implementasi.
- d. Peningkatan jumlah komponen biotik pada lokasi perlakuan.
- e. Peningkatan pH tanah.
- f. Kemampuan salah satu tanaman budidaya untuk tumbuh pada areal percobaan, setelah proses fitoremediasi berlangsung selama 3 bulan.

2. Langkah-langkah aplikasi konsorsium mikroorganisme dan tumbuhan fitoremediator merkuri (Hg):

- a. Pembuatan bedengan pada plot percobaan, sebanyak 5 bedengan untuk tiap plot yang berukuran 25 m². Jumlah total plot sebanyak 10 buah.
- b. Penyiraman konsorsium isolat cair mikroorganisme pada bedengan.
- c. Penambahan seresah (metode 1), tanpa seresah (metode 2) pada bedengan.
- d. Penanaman tumbuhan fitoremediator (2 jenis: karamunting dan sampahiring), pada 10 plot percobaan. Tiap plot percobaan berisi 50 bibit tumbuhan, dan pada tiap bedengan dengan panjang 5 meter ditanami 10 bibit dari kedua jenis tumbuhan secara bergiliran.
- e. Penanaman tumbuhan budidaya pada plot percobaan, setelah 3 bulan aplikasi.

3. Analisis Data:

Menggunakan analisis statistik deskriptif kualitatif dan kuantitatif.

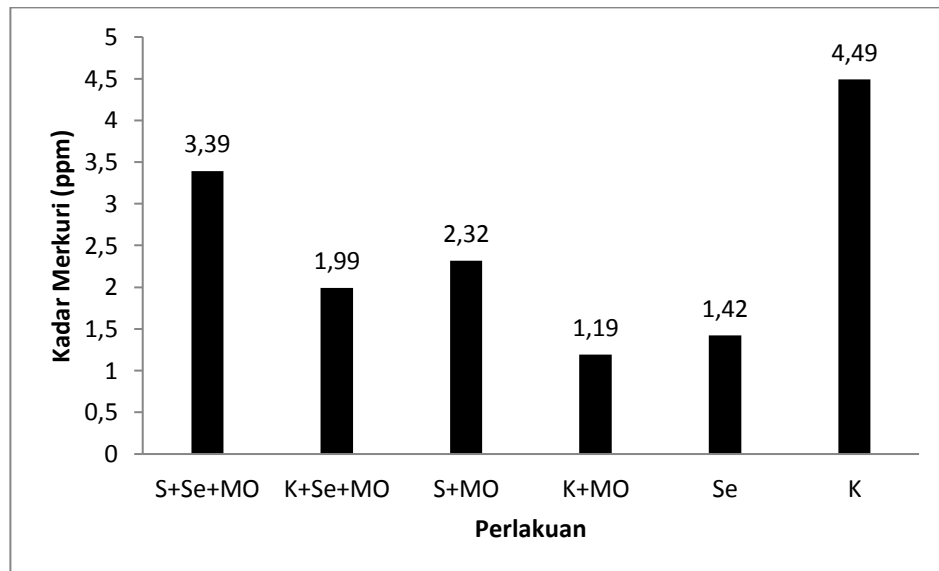
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Hasil

Deskripsi hasil penelitian dipaparkan sebagai berikut: 1) data kadar merkuri (Hg) sebelum dan sesudah perlakuan; 2) data pH tanah sebelum dan sesudah perlakuan; 3) data perbandingan jumlah mikroorganisme pada tiap perlakuan; 4) data kandungan unsur hara makro; 5) data kandungan unsur hara mikro; 6) data pertumbuhan 2 jenis tanaman budidaya.

4.2 Data Kadar Merkuri (Hg)

Perlakuan bioremediasi menggunakan konsorsium isolat *Klebsiella* sp. dan *Pseudomonas* sp., dipadukan dengan fitoremediasi rata-rata mampu menurunkan kadar Hg pada tanah sebesar lebih dari 2,5 ppm. Kombinasi perlakuan bioremediasi yang dipadukan dengan fitoremediasi menggunakan tumbuhan jenis karamunting (*Melastoma* sp.), mampu menurunkan kadar Hg pada tanah pasca penambangan emas, sebesar rata-rata 26% (Gambar 4.1).



Gambar 4.1. Rata-rata Kadar Merkuri (Hg) pada Lahan Pasca Tambang Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Merkuri merupakan salah satu bentuk logam yang tidak mempunyai manfaat bagi mikroorganisme, juga makhluk hidup secara umum. Beberapa logam, seperti kalsium, kobalt, kromium, copper, besi, potassium, magnesium, mangan, sodium, nikel, dan zink, tergolong ke dalam logam-logam esensial yang bermanfaat penting untuk: mikronutrien dan digunakan dalam proses redoks; menstabilkan molekul melalui interaksi elektrostatis, komponen dari berbagai enzim, dan mengatur tekanan osmotik (Bruins *et al.*, 2000). Merkuri berperan sebaliknya, karena tergolong ke dalam logam non esensial dan berpotensi meracuni mikroorganisme. Merkuri dalam bentuk ion Hg^{2+} dan logam-logam non esensial lain seperti Cd^{2+} , dan Ag^{2+} , cenderung berikatan dengan gugus SH, dan kemudian menghambat aktivitas dan enzim-enzim spesifik (Nies, 1999). Toksisitas logam-logam nonesensial ini terjadi melalui

pertukaran tempat logam esensial dari situs pelekatan alaminya atau melalui interaksi ligan. Pada konsentrasi tinggi, baik logam esensial maupun nonessential dapat merusak membran sel, mengubah spesifikasi enzim, merusak fungsi selular, dan merusak struktur DNA (Bruins *et al.* 2000).

Beberapa mikroorganisme memiliki kemampuan untuk memanfaatkan kontaminan lingkungan sebagai sumber makanan dan sekaligus untuk tumbuh dan berkembang biak di areal kontaminan (Vidali, 2001). Polutan tersebut digunakan sebagai sumber energi, sumber karbon atau akseptor elektron untuk metabolisme mikroorganisme yang bersangkutan. Beberapa bakteri, khamir dan algae mampu mengakumulasi ion logam dalam sel mereka beberapa kali lipat dari konsentrasi logam di lingkungan sekitarnya (Semple, 2003). Peristiwa mutasi dan seleksi turut menghasilkan evolusi pada strain mikroorganisme yang mampu beradaptasi untuk memanfaatkan kontaminan lingkungan, akibatnya mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk memetabolisme kontaminan spesifik, dapat diperoleh pada lokasi yang terkontaminasi (Vidali, 2001).

Konsorsium bakteri yang digunakan untuk proses bioremediasi merkuri pada lahan pasca tambang emas, dalam penelitian ini adalah dari jenis *Pseudomonas* sp. dan *Klebsiella* sp. Bakteri *Pseudomonas* sp. merupakan bakteri yang memiliki peranan penting dalam keseimbangan alam, dan bakteri *Klebsiella* sp. juga bakteri yang banyak tersebar di alam, baik di air maupun di tanah (Moore *et al.*, 2006; Essa, *et al.*, 2002b). Kedua jenis bakteri ini memiliki kemampuan untuk mengeliminasi merkuri pada media cair dengan mekanisme yang berbeda. Kombinasi mekanisme kerja yang terjadi antara

bakteri *Pseudomonas* sp. dan bakteri *Klebsiella* sp. adalah sebagai berikut : isolat *Pseudomonas* sp. menggunakan reaksi reduksi secara enzimatik dengan menggunakan bantuan enzim merkuri reduktase, untuk mengubah Hg^{2+} terlarut menjadi Hg^0 yang volatil (Wagner-Döbler *et al.*, 2000), sedangkan bakteri *Klebsiella* sp. memiliki kemampuan untuk menghasilkan hidrogen sulfida (H_2S) dibawah kondisi aerobik, yang dapat mengendapkan ion Hg^{2+} yang terlarut menjadi HgS yang tidak larut dalam air, sehingga dapat dengan mudah dipisahkan dari larutan (Essa, *et al.*, 2002b). Kombinasi mekanisme kerja ini yang menyebabkan proses reduksi merkuri pada kultur yang ditanam pada isolat campuran kedua jenis bakteri ini lebih besar dibandingkan dengan isolat tunggal.

Pada penelitian ini metode bioremediasi dikombinasikan dengan fitoremediasi, menggunakan jenis tumbuhan sampahiring (*Cyperus* sp.) dan karamunting (*Melastoma*, sp.). Fitoremediasi merupakan pemanfaatan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Semua tumbuhan mampu menyerap logam dalam jumlah yang bervariasi tetapi beberapa tumbuhan mampu mengakumulasi unsur logam tertentu dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Cara ini relatif murah dan memungkinkan sumber pencemar didaur ulang. Proses fitoremediasi dapat terjadi melalui beberapa mekanisme antara lain : biodegradasi dalam rizosfer, fitostabilisasi, fitoakumulasi (fitoekstraksi), rizofiltrasi (system hidroponik untuk pembersihan air), fitovolatilisasi, fitodegradasi, pengendalian hidrolis (Brown *et al.*, 1995)

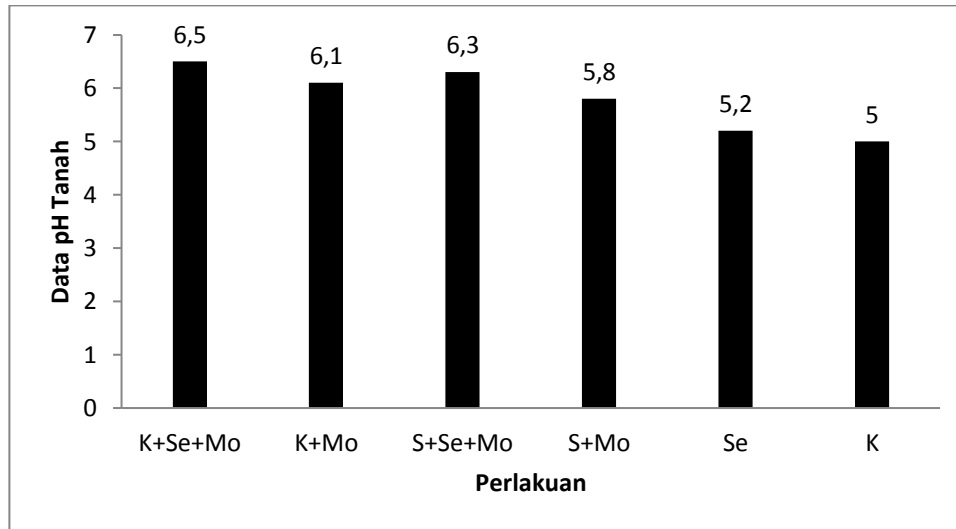
Ada 6 mekanisme utama yang dilakukan oleh tumbuhan untuk proses fitoremediasi, yakni:

1. Stimulasi bioaktivitas mikroorganisme di areal rhizosfer tanaman
2. Jaringan tumbuhan dapat mengeluarkan enzim yang dapat mengendapkan dan mengikat polutan-polutan aromatik.
3. Enzim-enzim dari tumbuhan dapat mendegradasi senyawa-senyawa organik.
4. Akar tanaman dapat menyerap dan memecahkan senyawa-senyawa organik (*phytostabilization; in situ stabilization*)
5. Adanya hiperakumulasi dari logam berat atau radioaktif yang terjadi di dalam jaringan tumbuhan, yang kemudian digunakan untuk proses remediasi tanah ataupun air (*phytoextraction, rhizofiltration*)

Adanya kandungan merkuri yang dapat dideteksi pada jaringan tumbuhan, dimungkinkan karena terjadinya proses *phytoextraction, rhizofiltration*. Akar tanaman dapat menyerap kontaminan bersamaan dengan penyerapan nutrient dan air. Massa kontaminan tidak dirombak, tetapi diendapkan di bagian trubus dan daun tanaman. Metode ini digunakan terutama untuk menyerap limbah yang mengandung logam berat.

4.3. Data pH Tanah Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Bioremediasi oleh konsorsium isolat *Pseudomonas* sp. dan *Klebsiella* sp. Yang dipadukan dengan fitoremediasi, rata-rata meningkatkan pH tanah pada lahan pasca tambang emas sebesar 1,175, dari sebelumnya pH 5 menjadi pH rata-rata 6,175.

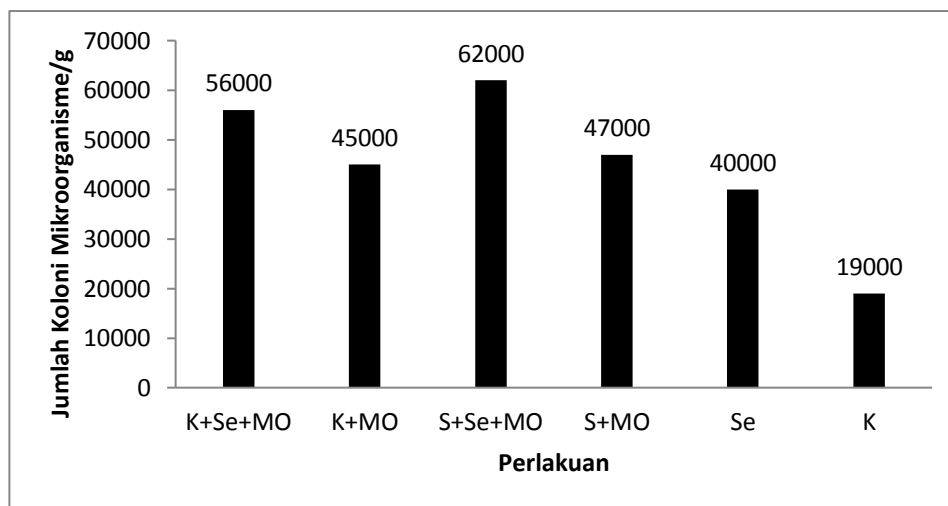


Gambar 4.2 Rata-rata Data pH Tanah Pada Lahan Pasca Tambang Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Peningkatan pH disebabkan adanya proses dekomposisi dari berbagai jenis bahan organik yang diberikan. Hasil perombakan tersebut akan menghasilkan kation-kation basa yang mampu meningkatkan pH. Soepardi (1983) menyatakan bahwa hasil akhir sederhana dari perombakan bahan organik antara lain kation-kation basa seperti Ca, Mg, K dan Na. Pelepasan kation-kation basa ke dalam larutan tanah akan menyebabkan tanah jenuh dengan kation-kation tersebut dan pada akhirnya akan meningkatkan pH tanah. Selanjutnya Richie (1989) menyatakan bahwa peningkatan pH akibat penambahan bahan organik karena proses mineralisasi dari anion organik menjadi CO₂ dan H₂O atau karena sifat alkalin dari bahan organik tersebut. Jadi dapat dikatakan bahwa pemberian bahan organik dapat meningkatkan pH tanah namun besarnya peningkatan tersebut sangat tergantung dari kualitas bahan organik yang dipergunakan.

4.4. Data Perbandingan Jumlah Koloni Mikroorganisme

Terjadi peningkatan jumlah mikroorganisme pada tanah yang diberi perlakuan bioremediasi dan fitoremediasi sebesar 2,5 kali lipat di atas kontrol. Tanah yang ditanami dengan sampahiring, ditambahkan seresah dan gabungan *Klebsiella* sp. dan *Pseudomonas* sp., memperlihatkan kenaikan jumlah koloni mikrob sebesar lebih dari 3 kali lipat dibandingkan dengan kontrol (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Rata-rata Jumlah Koloni Mikroorganisme Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Jumlah koloni mikroorganisme pada tanah yang diberi perlakuan fitoremediasi dan bioremediasi rata-rata lebih banyak dibandingkan dengan kontrol. Peningkatan jumlah ini dapat terjadi karena adanya penurunan tingkat pencemaran logam berat merkuri pada areal perlakuan, sebesar rata-rata 2,5 ppm. Mikroorganisme telah mengembangkan serangkaian mekanisme resistensi untuk mencegah toksisitas merkuri, sebagai respons terhadap adanya senyawa-senyawa merkuri yang terdistribusi

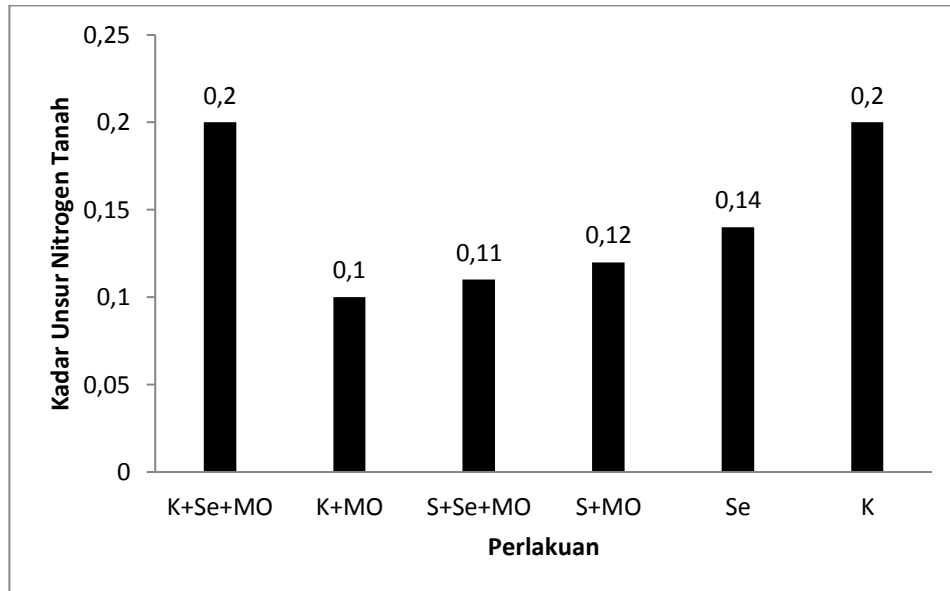
secara global oleh aktivitas geologis maupun antropogenik (De, 2004). Beberapa bakteri mampu untuk bertahan terhadap kontaminasi logam berat, karena memiliki mekanisme transformasi kimiawi, melalui peristiwa reduksi, oksidasi, metilasi dan demetilasi (Nascimento & Souza, 2003). Isolat-isolat bakteri resisten merkuri dapat dimanfaatkan sebagai isolat untuk bioremediasi polusi logam berat merkuri. Mikroorganisme dari lingkungan terkontaminasi yang telah mengembangkan resistensi terhadap merkuri dan memainkan peran utama dalam dekontaminasi merkuri secara alami (Cursino *et al.* 1999). Aktivitas mikroorganisme untuk mengembangkan cara-cara biokimiawi dalam melindungi dirinya dari logam-logam yang potensial membahayakan, sangat bermanfaat untuk aplikasi bioremediasi (Lloyd, 2002).

Mikroorganisme harus mengembangkan suatu sistem *uptake* logam-logam yang sangat spesifik dan teregulasi, untuk dapat membedakan antara struktur yang sangat sama antara ion logam esensial dengan ion-ion logam non esensial. Mikroorganisme biasanya menggunakan dua tipe sistem *uptake* untuk ion-ion logam. Mekanisme yang pertama bersifat cepat, tidak spesifik, dan dikendalikan oleh gradien khemio-osmotik untuk melintasi membran sitoplasma. Mekanisme ini digunakan oleh berbagai substrat, dan diekspresikan secara konstitutif (Nies, 1999). Mekanisme sistem *uptake* tipe kedua memiliki spesifitas tinggi terhadap substrat, lebih lambat, sering menggunakan hidrolisis ATP sebagai sumber energi, dan hanya dihasilkan oleh sel pada saat dibutuhkan, saat kelaparan, atau pada situasi metabolik khusus (Nies dan Silver, 1995).

Sistem *uptake* logam-logam yang sangat spesifik dan teregulasi yang dimiliki oleh mikroorganisme, tidak cukup untuk melindunginya dari masuknya logam-logam non esensial ke dalam selnya, karena logam-logam non esensial pada konsentrasi tinggi tetap dapat masuk ke dalam sel, melalui suatu sistem yang tidak spesifik, yang secara konstitutif diekspresikan. Adanya peluang *open gate* atau pintu terbuka ini menyebabkan ion-ion logam tetap dapat meracuni sel mikroorganisme (Nies, 1999). Upaya mikroorganisme untuk mengatasi peluang masuknya logam non esensial, kemudian diperlengkapi dengan memperkuat faktor-faktor homeostasis ion logam dan determinan-determinan resisten-logam (Nies & Silver, 1995; Nies, 1999; Bruins *et al*, 2000).

4.5. Data Kandungan Unsur Hara Makro

Unsur hara makro yang dianalisis adalah kandungan nitrogen, posfor, dan kalium. Dari 3 jenis unsur hara yang diuji, kandungan posfor dan kalium meningkat setelah diberi perlakuan bioremediasi dan fitoremediasi. Peningkatan posfor rata-rata sebesar 33% dibandingkan kontrol (Gambar 4.5), sedangkan peningkatan kandungan kalium rata-rata sebesar 73% (Gambar 4.6). Pada penelitian ini, kandungan unsur hara nitrogen tidak mengalami peningkatan (Gambar 4.4).



Gambar 4.4 Rata-rata Kadar Unsur Nitrogen Tanah Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Kesuburan tanah ditentukan oleh keadaan fisika, kimia dan biologi tanah. Keadaan fisika tanah meliputi kedalaman efektif, tekstur, struktur, kelembaban dan tata udara tanah. Keadaan kimia tanah meliputi reaksi tanah (pH tanah), KTK, kejenuhan basa, bahan organik, banyaknya unsur hara, cadangan unsur hara dan ketersediaan terhadap pertumbuhan tanaman. Sedangkan biologi tanah antara lain meliputi aktivitas mikrobial perombak bahan organik dalam proses humifikasi dan pengikatan nitrogen udara. Evaluasi kesuburan tanah dapat dilakukan melalui beberapa cara, yaitu melalui pengamatan gejala defisiensi pada tanaman secara visual.

Unsur hara yang penting untuk tanaman adalah nitrogen, fosfor, dan kalium yang memiliki kegunaan yaitu : nitrogen untuk merangsang pertumbuhan tanaman terutama batang, cabang, dan daun. Selain itu juga pertumbuhan klorofil, protein,

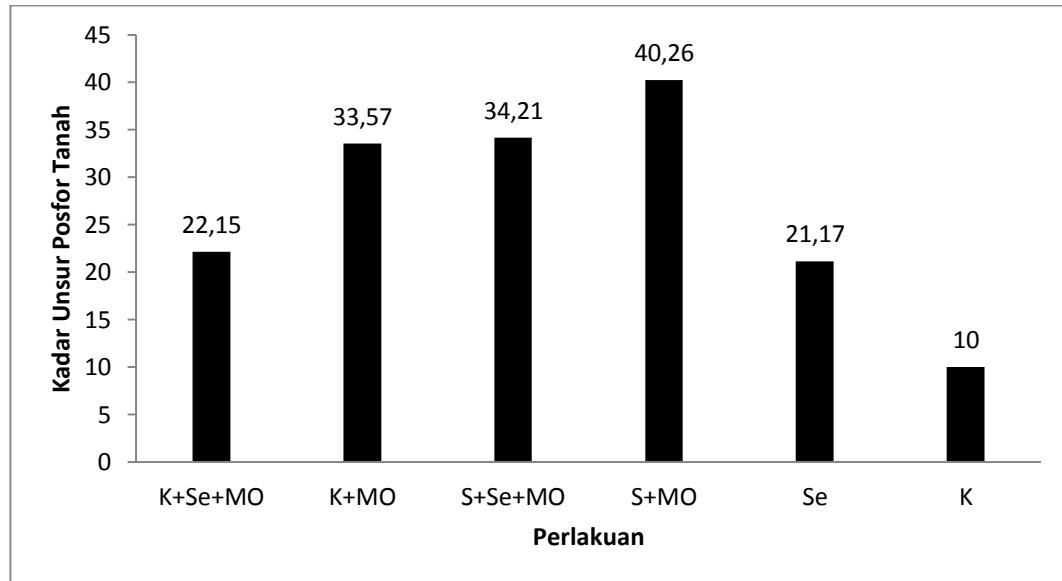
lemak dan senyawa organik lainnya. Fosfor untuk merangsang akar, bunga, buah dan biji. Kalium untuk memperkuat tubuh tanaman agar tidak mudah roboh serta bunga dan buah tidak mudah gugur.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kandungan nitrogen pada tanah lahan pasca tambang emas rata-rata 2%, sedangkan data standard unsur hara N pada tanah subur umumnya mengandung unsur N rata-rata sebesar 2,5 %. Nitrogen merupakan bagian dari semua sel hidup dan merupakan bagian penting dari semua protein, enzim dan proses metabolisme yang terlibat dalam sintesis dan transfer energi. Nitrogen merupakan bagian dari klorofil, pigmen hijau dari tanaman yang bertanggung jawab untuk fotosintesis. Membantu tanaman dengan pertumbuhan cepat, benih meningkat dan produksi buah dan meningkatkan kualitas dan produksi tanaman daun. Nitrogen sering berasal dari aplikasi pupuk dan dari udara (legum mendapatkan mereka N dari air, suasana atau curah hujan berkontribusi sedikit nitrogen sangat).

Nitrogen (N) merupakan hara makro utama yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Kandungan nitrogen dalam tanaman 1-4% dari berat kering tanaman. Tanaman dapat mengambil N dalam bentuk ammonium (NH_4^+) atau nitrat (NO_3^-) dan bersenyawa dengan persenyawaan karbon untuk membentuk persenyawaan asam amino dan protein. Pada netral (di dekat pH 7), mikroba konversi pH NH_4^+ untuk nitrat (nitrifikasi) cepat, dan umumnya tanaman mengambil nitrat. Pada tanah asam (pH <6), nitrifikasi lambat, dan tanaman dengan kemampuan untuk mengambil NH_4^+ mungkin memiliki keuntungan.

Salah satu faktor penting unsur N adalah pengaruhnya terhadap karbohidrat di dalam tanaman. Hal ini terjadi bilamana unsur hara N disuplai dalam jumlah besar maka akan menurunkan level karbohidrat. Tetapi jika suplai N terbatas sekali, maka level karbohidrat di dalam tanaman akan meningkat. Dengan demikian penggunaan unsur N akan berpengaruh langsung terhadap sintesis karbohidrat didalam sel tanaman dan selanjutnya akan berpengaruh terhadap ketegaran (vigor) tanaman (Nyakpa, dkk, 1988). Tanaman yang kekurangan N akan menyebabkan tanaman tumbuh kerempeng dan tersendat-sendat. Daun menjadi hijau muda, terutama daun yang sudah tua, lalu berubah menjadi kuning. Selanjutnya daun mengering mulai dari bawah ke bagian atas. Jaringan-jaringannya akan mati, mengering lalu mengeras.. Unsur hara N umumnya bersifat higroskopis, reaksi kerjanya cepat, mudah tercuci dan mudah terbakar oleh sinar matahari (Lingga dan Marsono, 2000)

Tanaman yang kekurangan N menunjukkan gejala daun mengecil berwarna pucat sampai hijau kekuningan. Jika kronis atau kekurangan Nitrogen berkelanjutan, warna daun menjadi coklat kekuningan dan kering; tanaman kerdil dan produksi kurang serta memanjangnya akar tidak normal; daun-daun sebelah bawah tampak hangus dan mati sebelum waktunya. Sementara itu ujung tanaman tetap hijau muda.



Gambar 4.5 Rata-rata Kadar Unsur Posfor Tanah Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Fitoremediasi dan Bioremediasi

Data standard unsur hara P pada tanah subur umumnya mengandung unsur P rata-rata sebesar 16,21 ppm. Fosfor (P) merupakan unsur hara yang sangat stabil didalam tanah sehingga kelarutannya sangat rendah. Fosfor diserap oleh tanaman dalam bentuk ion $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ dan HPO_4^{2-} . Secara umum P tanah dapat dibedakan atas P-organik dan P-anorganik. Namun pupuk P mudah terikat oleh logam-logam seperti Al^{3+} dan Fe^{3+} yang akibatnya setiap pemupukan P akan menyebabkan penimbunan P dalam tanah berupa P tidak larut (Nyakpa, dkk, 1988).

Umumnya tanah kira-kira 0,1-0,4% dari berat kering tanaman. unsur hara ini diperlukan untuk pembelahan sel dan perkembangan jaringan tanaman yang membentuk titik tumbuh tanaman. Selain itu, fosfor mempercepat masaknya tanaman.

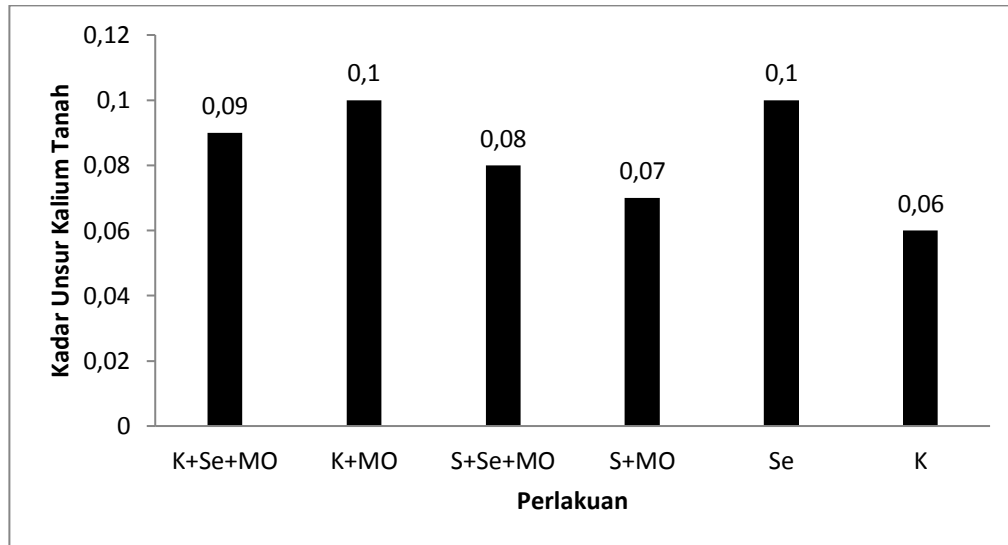
Umumnya tanah memerlukan fosfor. Jika kekurangan fosfor, produksi tanaman akan bertambah. Tanah akan lebih cepat kritis jika kekurangan fosfor daripada kekurangan nitrogen. Hal ini disebabkan mikrob dalam tanah masih dapat mengikat nitrogen yang tersedia untuk tanaman. Fosfor kelarutannya rendah, tetapi fosfor tidak mudah tercuci, sementara itu nitrogen mudah tercuci.

Fosfor Seperti nitrogen, fosfor (P) adalah bagian penting dari proses fotosintesis. Terlibat dalam pembentukan semua, gula minyak, pati, dll . Membantu dengan transformasi energi matahari menjadi energi kimia; pematangan tanaman yang tepat; menahan stres. Efek pertumbuhan yang cepat. Mendorong mekar dan pertumbuhan akar. Fosfor sering berasal dari pupuk, tepung tulang, dan superfosfat.

Fungsi P bagi tanaman adalah mempercepat pertumbuhan akar semai, memacu dan memperkuat pertumbuhan tanaman dewasa umumnya dan meningkatkan produksi biji-bijian. Pembentukan inti sel, berperan dalam pembelahan sel dan perkembangan jaringan meristematik (Sutedjo dan Kartasapoetra, 1991)

Tanaman yang kekurangan P, pertumbuhan terhambat, daunnya berubah warna ke lewat tua dan sering tampak mengkilap kemerahan. Tepi daun cabang serta batang terdapat warna merah ungu yang lambat laun berubah menjadi kuning, Tanaman kadang tinggi dan kurus (Pracaya, 2007).

Penyebab kekurangan fosfor antara lain terjadi persaingan pengambilan fosfor didalam tanah antara tanaman dengan mikroorganisme dan didalam tanah terjadi kekurangan air (Pracaya, 2007).



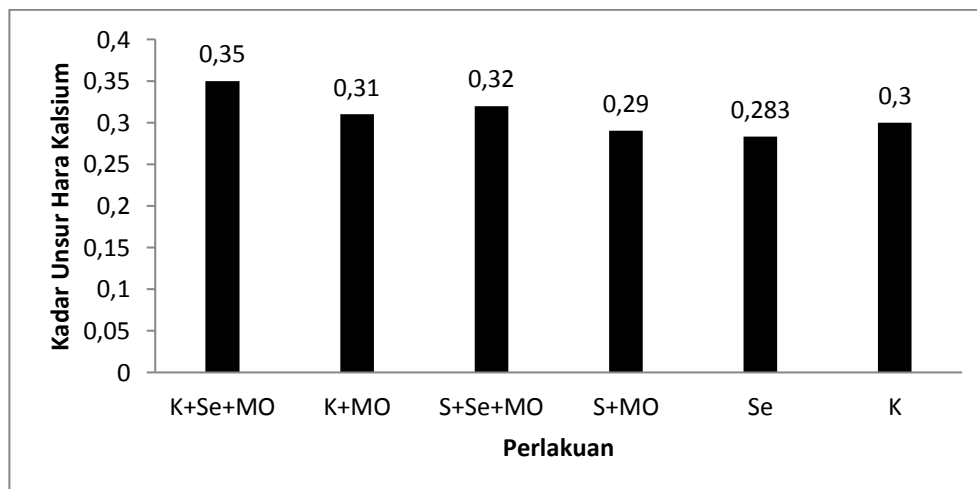
Gambar 4.6 Rata-rata Kadar Unsur Kalium Tanah Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Data standard unsur hara K pada tanah subur umumnya mengandung unsur K rata-rata sebesar 0,4 me/100 g, diambil dan diserap tanaman dalam bentuk: K+Kalium (K) Berfungsi dalam proses fotosintesa, pengangkutan hasil asimilasi, enzim dan mineral termasuk air. meningkatkan daya tahan/kekebalan tanaman terhadap penyakit, membantu pembentukan protein dan karbohidrat, berperan memperkuat tubuh tanaman, mengeraskan jerami dan bagian kayu tanaman, agar daun, bunga dan buah tidak mudah gugur, meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kekeringan dan penyakit, meningkatkan mutu dari biji/buah.

Tanaman yang kekurangan unsur K gejalanya : batang dan daun menjadi lemas/rebah, daun berwarna hijau gelap kebiruan tidak hijau segar dan sehat, ujung daun menguning dan kering, timbul bercak coklat pada pucuk daun.

4.6. Data Unsur Hara Mikro Tanah

Unsur hara mikro tanah yang dianalisis adalah unsur hara kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan besi (Fe). Jenis unsur hara Mg, Na, dan Fe rata-rata mengalami peningkatan setelah diberi perlakuan bioremediasi menggunakan gabungan isolat *Klebsiella* sp. dan *Pseudomonas* sp. dikombinasikan dengan tumbuhan fitoremediator. Unsur hara Mg rata-rata meningkat sebesar 21% setelah perlakuan fitoremediasi dan bioremediasi (Gambar 4.8), unsur hara Na rata-rata sebesar 19,5%, unsur hara Fe rata-rata sebesar 71% (Gambar 4.9), sedangkan unsur hara Ca tidak mengalami peningkatan setelah diberikan perlakuan (Gambar 4.7).



Gambar 4.7 Rata-rata Kadar Unsur Hara Kalsium Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Data standard unsur hara Ca pada tanah subur umumnya mengandung unsur Ca rata-rata sebesar 8 me/100 g. Unsur ini diserap dalam Ca^{++} , Kalsium terdapat sebagai kalsium pectinaat pada lamela-lamela tengah dari dinding-dinding sel,

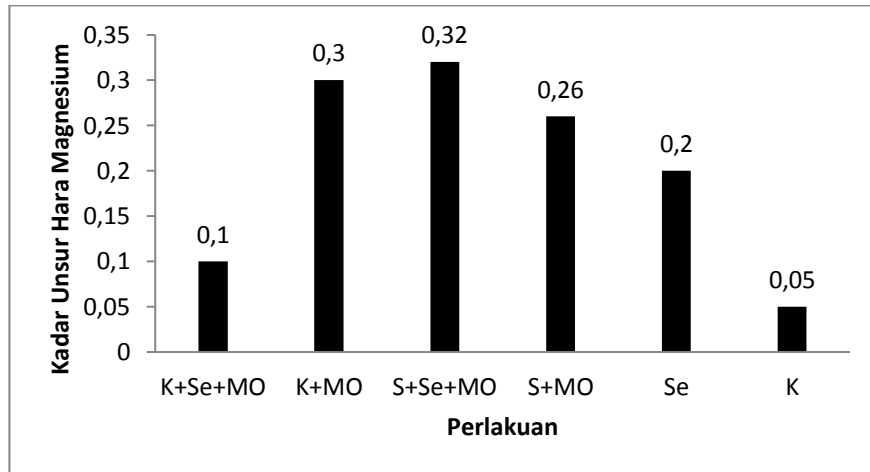
endapan-endapan dari kalsium oksalat dan kalsium karbonat dan sebagai ion didalam air-sel. Kebanyakan dari zat kapur ini (CaO) terdapat didalam daun dan batang. Pada biji-biji relatif kurang mengandung kapur, demikian juga pada akar-akaran. Pada akar-akaran banyak terdapat pada ujung-ujungnya dan bulu-bulu akar.

Fungsi ion Kalsium yang penting adalah mengatur permeabilitas dari dinding sel. Telah diketahui bahwa ion-ion Kalium itu mempertinggi permeabilitas dinding sel dan ion-ion Kalsium adalah sebaliknya. Hal ini penting bagi organisme, sebab bertambahnya permeabilitas yang disebabkan ion-ion Kalium dapat lebih dicegah.

Peranan yang penting dari kapur terdapat pada pertumbuhan ujung-ujung akar dan pembentukan bulu-bulu akar. Bila kapur ditiadakan maka pertumbuhan keduanya akan terhenti dan bagian-bagian yang telah terbentuk akan mati dan berwarna coklat kemerah-merahan.

Fungsi kalsium bagi tanaman adalah:

- a. Merangsang pembentukan bulu-bulu akar.
- b. Berperan dalam pembuatan protein atau bagian yang aktif dari tanaman.
- c. Memperkeras batang tanaman dan sekaligus merangsang pembentukan biji.
- d. Menetralkan asam-asam organik yang dihasilkan pada saat metabolisme.
- e. Kalsium yang terdapat dalam batang dan daun dapat menetralkan senyawa atau suasana keasaman tanah.

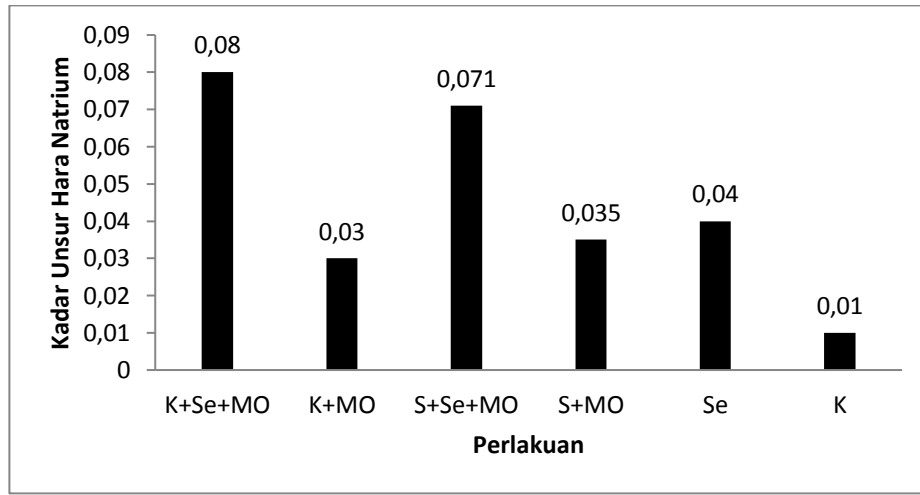


Gambar 4.8 Rata-rata Kadar Unsur Hara Magnesium Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Data standard unsur hara Mg pada tanah subur umumnya mengandung unsur Mg rata-rata sebesar 1,6 me/100 g. Diambil dan diserap oleh tanaman dalam bentuk: Mg^{++} dan merupakan bagian dari hijau daun yang tidak dapat digantikan oleh unsur lain, kecuali didalam hijau daun Mg terdapat sebagai ion didalam air-sel.

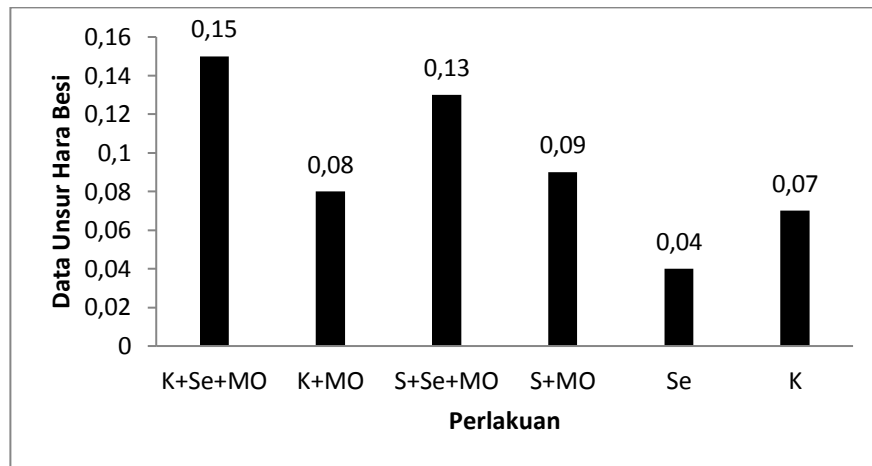
Walaupun zat mineral ini diserap tanaman dalam jumlah yang sedikit jika dibandingkan dengan zat mineral makro lain (diantaranya N,P dan Ca), Mg dalam bentuk Mg^{2+} mempunyai peranan penting dalam penyusunan klorofil. Menurut G. H. Collings (1955) kadar magnesium dari klorofil tanaman adalah 2,7 persen. Fungsi magnesium bagi tanaman adalah:

- Magnesium merupakan bagian tanaman dari klorofil.
- Merupakan salah satu bagian enzim yang disebut organic pyrophosphatase dan carboxy peptisida.
- Berperan dalam pembentukan buah.



Gambar 4.9 Rata-rata Kadar Unsur Hara Natrium Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Data standar unsur hara Na pada tanah subur umumnya mengandung unsur Na rata-rata sebesar 0,5 me/100 g. Natrium dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman apabila tanaman yang dimaksud menunjukkan gejala kekurangan Kalium (K). Natrium dalam proses fisiologi dengan K, yaitu menghalangi atau mencegah pengambilan atau penyerapan K yang berlebihan.



Gambar 4.10 Rata-rata Kadar Unsur Hara Besi Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Besi (Fe) merupakan unsur mikro yang diserap dalam bentuk ion feri (Fe^{3+}) ataupun fero (Fe^{2+}). Fe dapat diserap dalam bentuk khelat (ikatan logam dengan bahan organik). Mineral Fe antara lain olivin ($\text{Mg, Fe}_2\text{SiO}_4$), pirit, siderit (FeCO_3), gutit (FeOOH), magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3) dan ilmenit (FeTiO_3). Besi dapat juga diserap dalam bentuk khelat, sehingga pupuk Fe dibuat dalam bentuk khelat. Khelat Fe yang biasa digunakan adalah Fe-EDTA, Fe-DTPA dan khelat yang lain. Fe dalam tanaman sekitar 80% yang terdapat dalam kloroplas atau sitoplasma. Penyerapan Fe lewat daun dianggap lebih cepat dibandingkan dengan penyerapan lewat akar, terutama pada tanaman yang mengalami defisiensi Fe. Dengan demikian pemupukan lewat daun sering diduga lebih ekonomis dan efisien. Fungsi Fe antara lain sebagai penyusun klorofil, protein, enzim, dan berperan dalam perkembangan kloroplas. Sitokrom merupakan enzim yang mengandung Fe porfirin. Kerja katalase dan peroksidase digambarkan secara ringkas sebagai berikut:

a. Catalase : $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

b. Peroksidase : $\text{AH}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{A} + \text{H}_2\text{O}$

Fungsi lain Fe ialah sebagai pelaksana pemindahan electron dalam proses metabolisme. Proses tersebut misalnya reduksi N_2 , reduktase sulfat, reduktase nitrat. Kekurangan Fe menyebabkan terhambatnya pembentukan klorofil dan akhirnya juga penyusunan protein menjadi tidak sempurna. Defisiensi Fe menyebabkan kenaikan kadar asam amino pada daun dan penurunan jumlah ribosom secara drastis. Penurunan kadar pigmen dan protein dapat disebabkan oleh kekurangan Fe. Juga akan mengakibatkan pengurangan aktivitas semua enzim.

Pemberian pupuk anorganik dapat membantu mikroorganisme dalam proses dekomposisi. Kandungan hara pada pupuk anorganik dapat menjadi pemicu atau starter bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang sehingga aktif dalam proses dekomposisi. Hal ini menyebabkan keadaan biologi tanah menjadi lebih baik yang selanjutnya mikroorganisme tersebut memfiksasi unsur-unsur yang ada dan akan membuat kondisi fisik tanah lebih baik. Kondisi fisik dan biologi seperti ini akan menyebabkan unsur-unsur yang belum tersedia menjadi tersedia sehingga memperbaiki pH tanah (sifat kimia tanah). Penggunaan pupuk N dalam tanah masam menyebabkan P tidak larut karena bereaksi dengan berbagai ion logam. Ketersediaan P sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Menurut Nyakpa, dkk (1988), Kalium memiliki sifat yaitu dapat diserap dalam jumlah yang berlebihan bahkan melebihi penyerapan N.

Unsur hara yang penting untuk tanaman adalah nitrogen, fosfor, dan kalium yang memiliki kegunaan yaitu : nitrogen untuk merangsang pertumbuhan tanaman

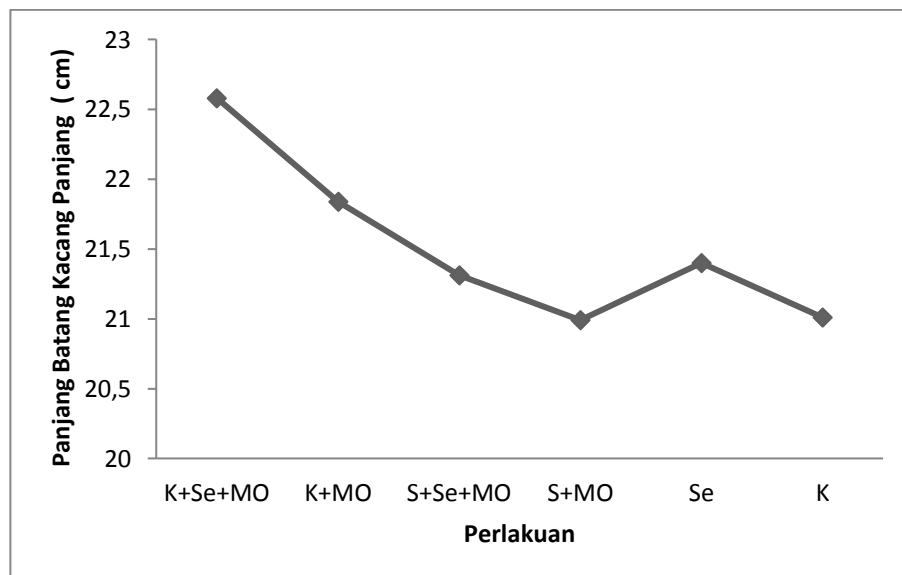
terutama batang, cabang, dan daun. Selain itu juga pertumbuhan klorofil, protein, lemak dan senyawa organik lainnya. Fosfor untuk merangsang akar, bunga, buah dan biji. Kalium untuk memperkuat tubuh tanaman agar tidak mudah roboh serta bunga dan buah tidak mudah gugur.

Ketersediaan N bagi tanaman berhubungan dengan nisbah C/N yang tinggi sehingga yang diserap tanaman terbatas. Salah satu ciri bahan organik yang suka terdekomposisi adalah nisbah C/N yang tinggi. Nisbah C/N yang tinggi ditunjukkan dengan nilai karbon C dalam jumlah tinggi, akibatnya akan menekan pertumbuhan mikroorganisme yang selanjutnya bahan organik sukar terdekomposisi.

Kekurangan unsur hara di dalam tanah dapat memperlihatkan gejala-gejala pertumbuhan tertentu pada tanaman. Misalnya kekurangan unsur hara besi (Fe) akan menyebabkan *chlorosis*; kekurangan hara nitrogen (N) menyebabkan tanaman kerdil, dan sebagainya. Kekurangan unsur hara di dalam tanah dapat juga diketahui dari analisis jaringan tanaman. Pendekatan ini didasarkan pada prinsip bahwa konsentrasi suatu unsur hara di dalam tanaman merupakan hasil interaksi dari semua faktor yang mempengaruhi penyerapan unsur tersebut dari dalam tanah. Analisis tanaman umumnya dilakukan terhadap bagian-bagian tertentu saja ataupun seluruh bagian tanaman. Interpretasi keadaan kesuburan tanah akan lebih baik apabila kedua cara ini (analisis tanah dan tanaman) digabungkan.

4.7. Data Pertumbuhan 2 Jenis Tanaman Budidaya

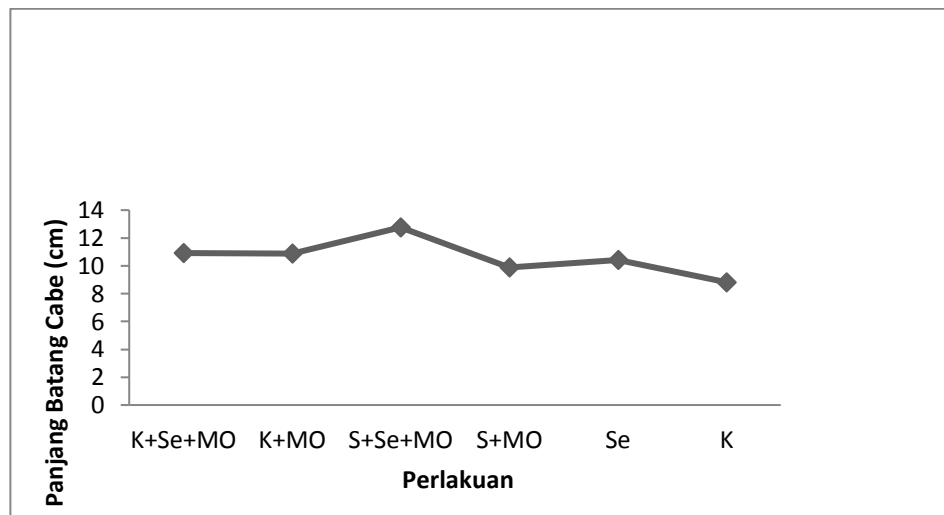
Dua jenis tanaman budidaya yang dipilih untuk dianalisis dalam penelitian ini adalah tanaman cabe dan tanaman kacang panjang. Kedua jenis tanaman ini dipilih karena termasuk tanaman jangka pendek yang relatif dapat beradaptasi pada kondisi panas, dan minim unsur hara. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pertumbuhan panjang tanaman kacang panjang rata-rata pada perlakuan lebih cepat dibandingkan dengan pada kontrol. Pemberian fitoremediator jenis karamunting yang dipadukan dengan isolat mikroorganisme dan seresah menghasilkan pertumbuhan kacang panjang 1 kali lebih cepat (dibandingkan dengan perlakuan yang lain (Gambar 4.11).



Gambar 4.11 Rata-rata Panjang Batang Kacang Panjang (cm) Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Tanaman kacang panjang tumbuh baik pada tanah latosol/lempung berpasir, subur, gembur, banyak mengandung bahan organik dan drainasenya baik, pH sekitar

5,5-6,5. Suhu antara 20-30°C, iklimnya kering, curah hujan antara 600-1.500 mm/tahun dan ketinggian optimum kurang dari 800 m dpl. Waktu panen yang paling baik pada pagi/sore hari. Umur tanaman siap panen 3,5-4 bulan



Gambar 4.12 Rata-rata Panjang Batang Cabe (cm) Pada Lahan Pasca Penambangan Emas setelah Perlakuan Bioremediasi dan Fitoremediasi

Pertumbuhan tanaman cabe pada areal berpasir pasca penambangan emas, rata-rata 1,2 kali lebih cepat dibandingkan dengan kontrol (Gambar 4.12). Tanaman cabe yang diberikan perlakuan dengan tumbuhan sampahiring, isolat mikroorganisme, dan seresah memperlihatkan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan jenis pertumbuhan lainnya. Pertumbuhan tanaman cabe di areal pasca penambangan emas rata-rata lebih cepat dibandingkan dengan tanaman kacang panjang.

Cabe dapat ditanam di dataran tinggi maupun rendah, pH 5-6. Tanaman ini kurang baik ditanam pada musim hujan, untuk menghindari gugurnya bunga. Tanaman cabe butuh lahan yang terbuka, tanpa naungan. Usia panen pertama sekitar umur 60-75

hari. Panen kedua dan seterusnya 2-3 hari dengan jumlah panen bisa mencapai 30-40 kali atau lebih tergantung ketinggian tempat dan cara budidayanya

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Aplikasi konsorsium mikroorganisme berupa gabungan isolat *Klebsiella* sp. dan *Pseudomonas* sp. yang dipadukan dengan tumbuhan fitoremediator merkuri mampu menurunkan Hg tanah sebesar rata-rata 2,5 ppm, meningkatkan pH tanah sebesar rata-rata 1,2, meningkatkan jumlah populasi mikrobial tanah sebesar 2,5 kali lipat di atas kontrol, meningkatkan unsur hara posfor rata-rata sebesar 33%, kalium 73%, Mg 21%, Na 19,5%, dan Fe 71%. Aplikasi konsorsium mikroorganisme dipadukan dengan tumbuhan fitoremediator merkuri dari jenis karamunting (*Melastoma* sp), lebih mampu memperbaiki kondisi tanah pada lahan pasca penambangan emas dibandingkan dengan tumbuhan sampahiring (*Cyperus* sp.). Pertumbuhan tanaman cabe pada lahan pasca tambang emas lebih baik dibandingkan dengan tanaman kacang panjang. Penambahan seresah pada metode bioremediasi dan fitoremediasi, dapat meningkatkan kandungan unsur hara dan jumlah populasi mikroorganisme tanah.

4.2. Saran

Penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk mengoptimasi bioremediasi dan fitoremediasi yang dipadukan dengan penambahan seresah yang bertujuan untuk

meningkatkan perbaikan kondisi tanah pada lahan pasca penambangan emas, dengan tujuan khusus: meningkatkan kekompakan pasir, mengurangi porositas air, meningkatkan bahan organik dan kelembaban tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA, 1988. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Ed.20.3111 B. USA: American Public Health Association. APHA Washington DC.
- Argonne, 2007. *Phytoremediation of Soil and Groundwater*. Environmental Science Division. A.U.S. Department of Energy Laboratory. Chicago Argonne. LLC. <http://www.evs.anl.gov> (diakses tanggal 28 Oktober 2008).
- Colome, J., A.M. Kubinski, R. J. Cano, D. V. Grady. 1986. *Laboratory Exercises in Microbiology*. West Publ. Co. San Francisco.
- EPA, 2005. *A Citizen's Guide to Phytoremediation*. <http://www.cluin.org> or <http://www.epa.gov> (diakses tanggal 28 Oktober 2008).
- Hidayati, N. 2005. *Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator*. Journal of Biosciences. Vol. 12. No. 1.
- Hofman & Anne. 2006. *Phytoremediation Rhyzoremediation*. Diakses dari <http://www.engg.ksu.edu>
- Moore, C. J., 2000. *A Review of Mercury in The Environment: Its Occurrence in Marine Fish*. South Carolina Department of Natural Resources.
- Neneng, L. 2006. *Karakterisasi dan Identifikasi Bakteri Pereduksi Merkuri dari Sungai Kahayan Kalimantan Tengah*. Penelitian Mandiri.
- Neneng, L. 2007. *Uji Efektivitas Bioremediasi Merkuri Oleh Isolat Bakteri Pereduksi Merkuri dalam Bioreaktor Sederhana*. Penelitian Mandiri.
- Neneng, L. 2007. *Memperkenalkan Bahaya dan Cara Penanggulangan Limbah Air Raksa Menggunakan Metode Bioremediasi dalam Bioreaktor Sederhana Bagi Penambang Emas di DAS Kahayan*. Makalah. Disampaikan dalam Kegiatan Sosialisasi Hasil Penelitian Bekerjasama dengan Balitbangda Prop. Kalteng, di Kuala Kurun, Tanggal 25 Juli 2007.
- Neneng, L. 2007. Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Efektivitas Bioremediasi Merkuri oleh Isolat Bakteri dan Sosialisasi Aplikasinya dalam Bioreaktor Sederhana kepada Penambang Emas di DAS Kahayan Kalimantan Tengah. Disertasi. Tidak dipublikasikan. PPS: Universitas Negeri Malang.
- Neneng, L. 2008. Eksplorasi Isolat Bakteri Potensial untuk Bioremediasi Merkuri (Hg) dari Areal Penambangan Emas di Sungai Kahayan Kalimantan Tengah. Jurnal Agritek. Vol. 16. Hal. 189 – 194.
- Portier, R.J., 1991. Application of Adapted Microorganisms for Site Remediation of Contaminated Soil and Ground Water. Dalam A.M. Martin (Ed.), *Biological Degradation of Wastes* (hlm. 247-259). London: Elsevier Applied Science.
- SBIR Success Stories. 2006. *Phytoremediation of Arsenic-Contaminated Soils*. Edenspace system Corporation. <http://www.edenspace.com> (diakses tanggal 28 Oktober 2008).

- Suhendrayatna, 2001. *Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: suatu Kajian Kepustakaan*. Makalah disajikan dalam Seminar on-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21, Kerjasama antara Sinergy Forum dan PPI Tokyo Institute of Technology. 1-14 Februari.
- Wagner- Döbler, I., H.V. Canstein, Y. Li., K.N. Timmis, & W.D. Deckwer. 2000. Removal of Mercury from Chemical Wastewater by Microorganisms in Technical Scale. *J. Environ. Sci. Technol.* 34(21):4628-4634.
- Wagner- Döbler, I., H.V. Canstein, Y. Li., K.N. Timmis, & W.D. Deckwer. 2000. *Removal of Mercury from Chemical Wastewater by Microorganisms in Technical Scale. J. Environ. Sci. Technol.* 34(21):4628-4634.
- Waite, S. 2000. *Statistical Ecology in Practice: A Guide to Analysing Environmental and Ecological Field Data*. Prentice Hall.

LAMPIRAN

DOKUMENTASI KEGIATAN PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL 2011

1. Menyiapkan isolat untuk aplikasi di lapangan



2. Persiapan pembuatan plot tempat penanaman



3.a. Penanaman Karamunting

3.b. Penanaman Sampahiring



4. Pemberian Seresah pada tanaman



5.a. Tanaman Karamunting



6.a Tanaman Sampahiring



7. Penanaman Cabe dan Kacang Panjang



8.a Tanaman Cabe dengan seresah
seresah



8. b. Tanaman Cabe tanpa
seresah



9.a Tanaman Kacang Panjang tanpa seresah
dengan seresah



9. b. Tanaman Kacang Panjang
tanpa seresah



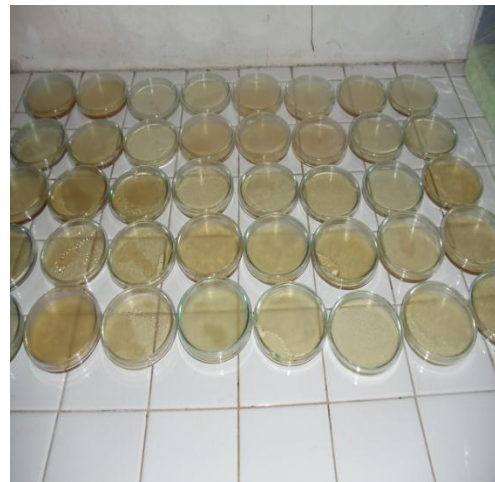
10. Pengukuran Panjang Tanaman Cabe dan Kacang Panjang



11. Pengambilan Sampel Tanah



12. Pembuatan media untuk menghitung jumlah mikroba pada tanah yang diambil

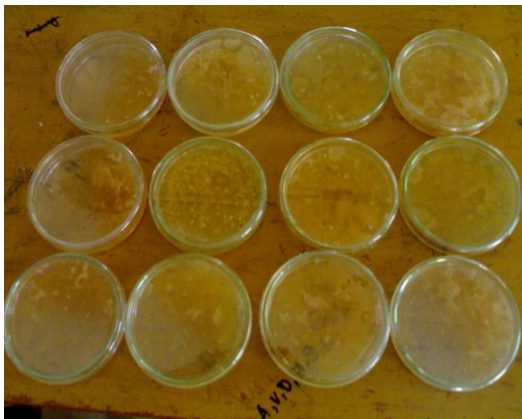


13. a. Sampel tanah yang siap ditanam

13. b. Penanaman sampel tanah pada media



14. Mikroba Tanah



15. Penghitungan mikroba tanah dengan menggunakan colony counter



JADWAL KEGIATAN DAN INDIKATOR KINERJA
KEGIATAN TAHUN KEDUA (2011)

A. Kegiatan Tahun Kedua:

| Kegiatan | Bulan | Indikator kinerja |
|--|------------------------------|---|
| Uji efektivitas konsorsium mikroorganisme yang potensial untuk bioremediasi merkuri pada skala lapang | Mei 2011 – Oktober 2011 | Paket konsorsium mikroorganisme yang terbukti efektif berasosiasi dengan tumbuhan fitoremediator pada skala pilot di lapangan |
| Analisis kelemahan dan kelebihan aplikasi konsorsium mikroorganisme dan tumbuhan fitoremediator pada skala pilot di lapangan untuk mendapatkan metode aplikasi yang paling tepat | Oktober 2011 – Nopember 2011 | Metode reklamasi lahan pasca penambangan emas secara biologis yang terbukti efektif untuk mengurangi pencemaran merkuri pada lahan, menyuburkan tanah, sekaligus melakukan revegetasi lahan. |

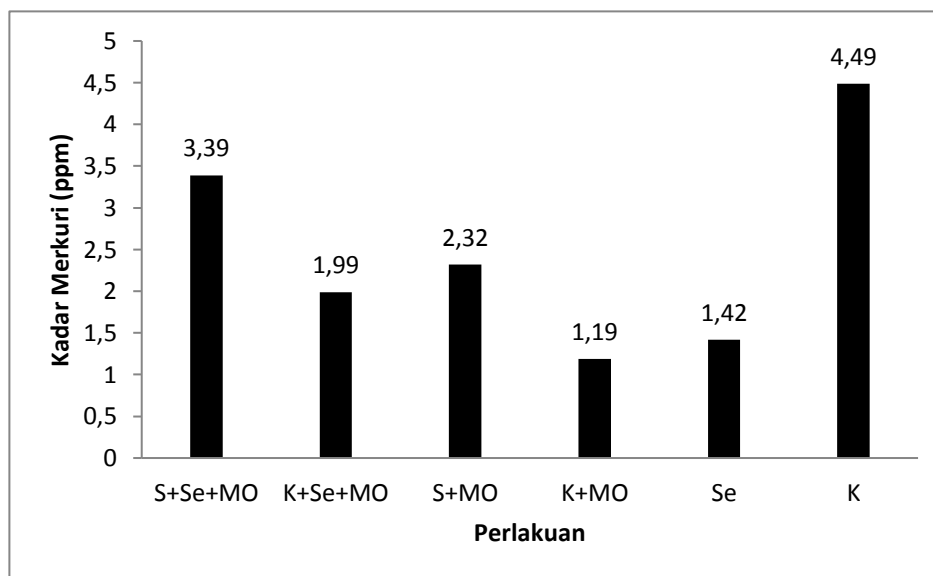
BAB IV. HASIL PENELITIAN

4.1 Deskripsi Hasil

Deskripsi hasil penelitian dipaparkan sebagai berikut: 1) data kadar merkuri (Hg) sebelum dan sesudah perlakuan; 2) data pH tanah sebelum dan sesudah perlakuan; 3) data perbandingan jumlah mikroorganisme pada tiap perlakuan; 4) data kandungan unsur hara makro; 5) data kandungan unsur hara mikro; 6) data pertumbuhan 2 jenis tanaman budidaya.

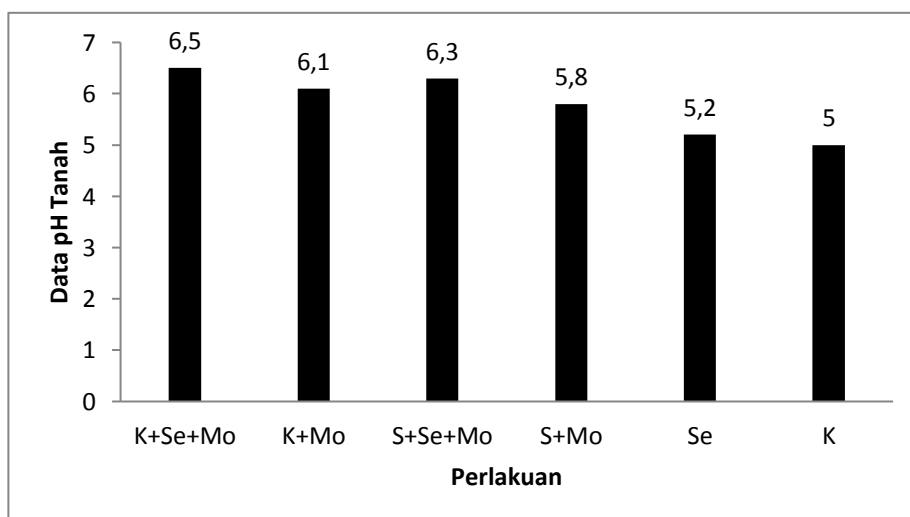
4.1 Data Kadar Merkuri (Hg)

Perlakuan bioremediasi menggunakan konsorsium isolat *Klebsiella* sp. dan *Pseudomonas* sp., dipadukan dengan fitoremediasi rata-rata mampu menurunkan kadar Hg pada tanah sebesar lebih dari 2,5 ppm. Kombinasi perlakuan bioremediasi yang dipadukan dengan fitoremediasi menggunakan tumbuhan jenis karamunting (*Melastoma* sp.), mampu menurunkan kadar Hg pada tanah pasca penambangan emas, sebesar rata-rata 26% (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Rata-rata Kadar Merkuri (Hg) Perlakuan

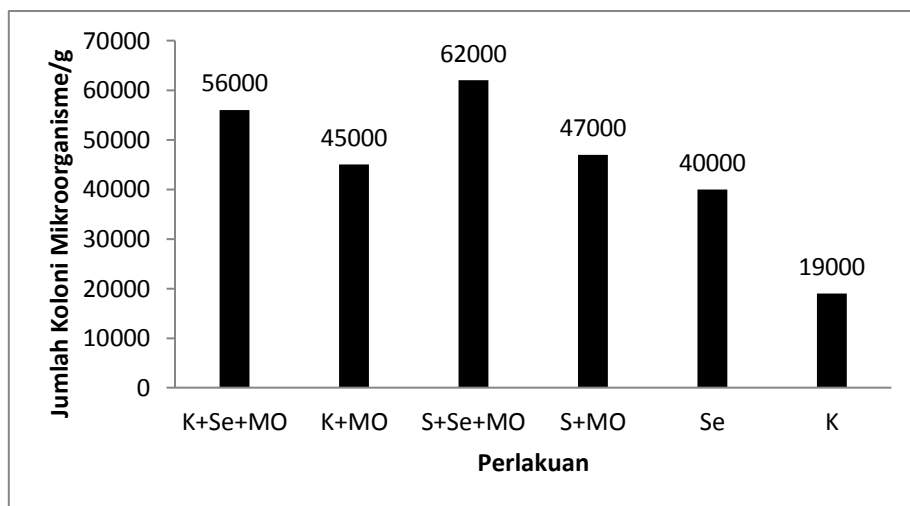
4.2 Data pH tanah sebelum dan sesudah perlakuan



Gambar 4.2 Rata-rata Data Ph Tanah Perlakuan

4.3 Data Perbandingan Jumlah Koloni Mikroorganisme

Terjadi peningkatan jumlah mikroorganisme pada tanah yang diberi perlakuan bioremediasi dan fitoremediasi sebesar 2,5 kali lipat di atas kontrol. Tanah yang ditanami dengan sampahiring, ditambahkan seresah dan gabungan *Klebsiella* sp. dan *Pseudomonas* sp., memperlihatkan kenaikan jumlah koloni mikrob sebesar lebih dari 3 kali lipat dibandingkan dengan kontrol (Gambar 4.3)

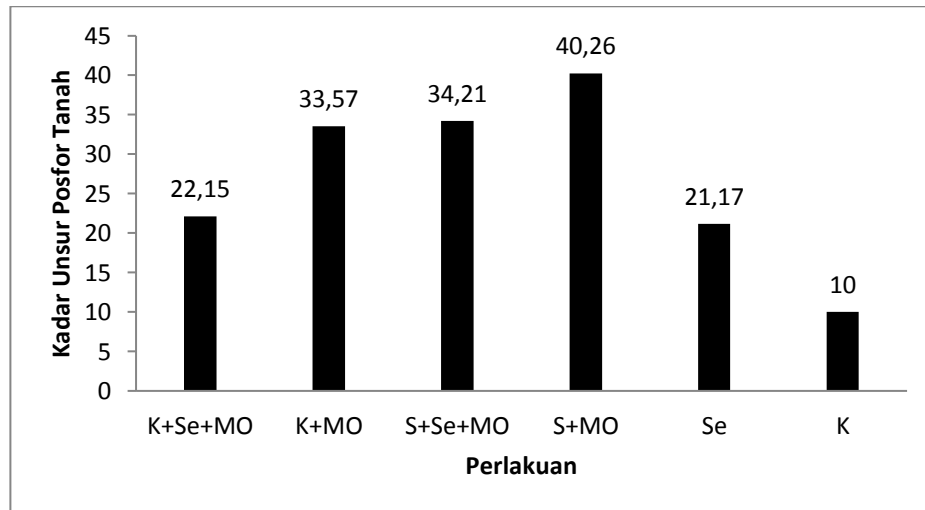


Gambar 4.3. Rata-rata Jumlah Koloni Mikroorganisme Perlakuan

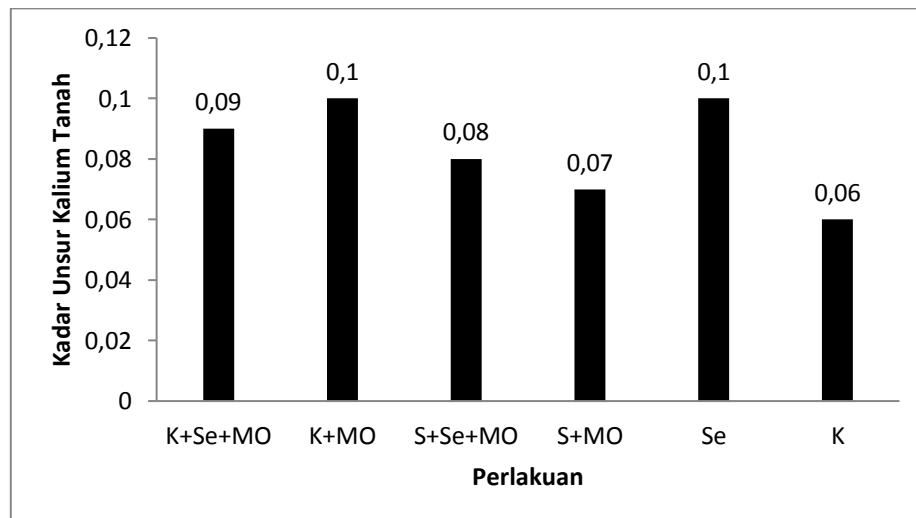
4.4 Data Kandungan Unsur Hara Makro

Unsur hara makro yang dianalisis adalah kandungan nitrogen, posfor, dan kalium. Dari 3 jenis unsur hara yang diuji, kandungan posfor dan kalium meningkat setelah diberi perlakuan bioremediasi dan fitoremediasi. Peningkatan posfor rata-rata sebesar 33% dibandingkan kontrol (Gambar 4.4.1), sedangkan peningkatan kandungan

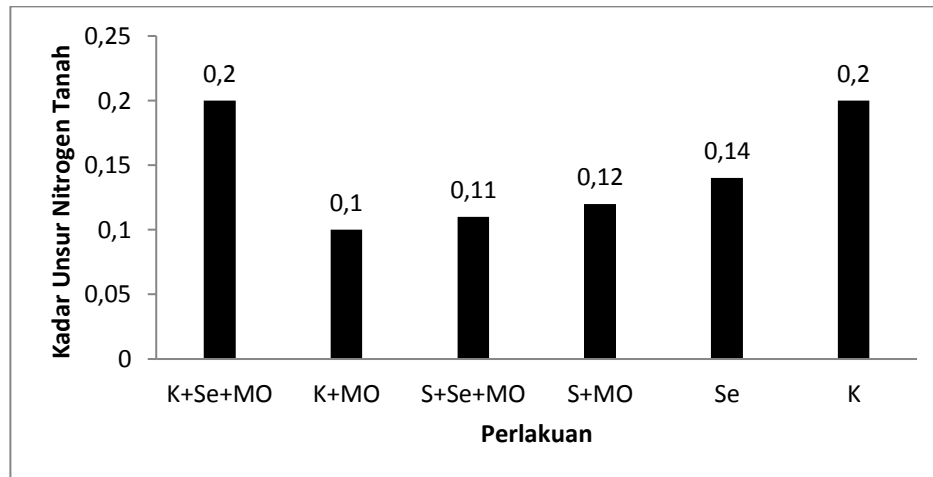
kalium rata-rata sebesar 73% (Gambar 4.4.2). Pada penelitian ini, kandungan unsur hara nitrogen tidak mengalami peningkatan (Gambar 4.4.3).



Gambar 4.4.1. Rata-rata Kadar Unsur Posfor Tanah Perlakuan



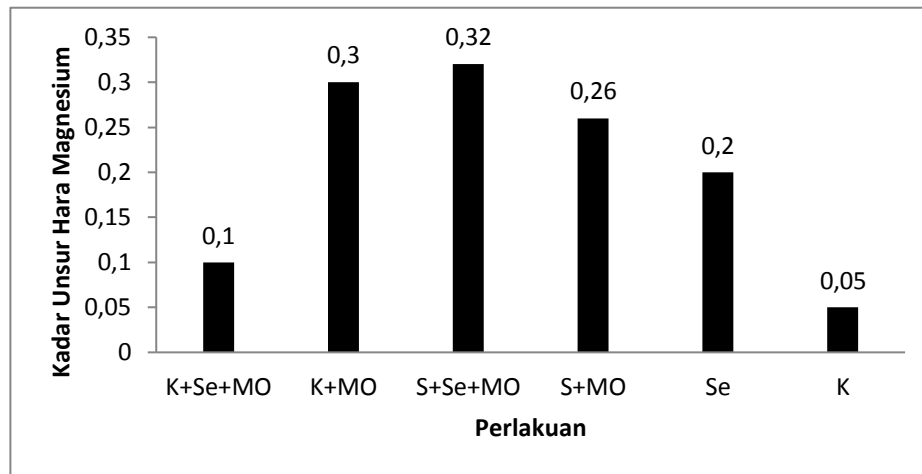
Gambar 4.4.2 Rata-rata Kadar Unsur Kalium Tanah Perlakuan



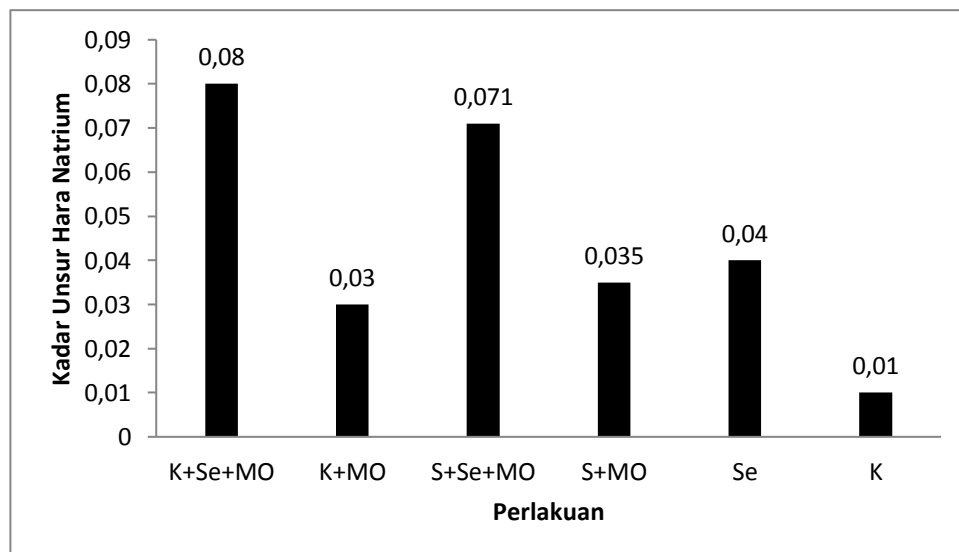
Gambar 4.4.3 Rata- rata Kadar Unsur Nitrogen Tanah Perlakuan

4.5 Data Unsur Hara Mikro Tanah

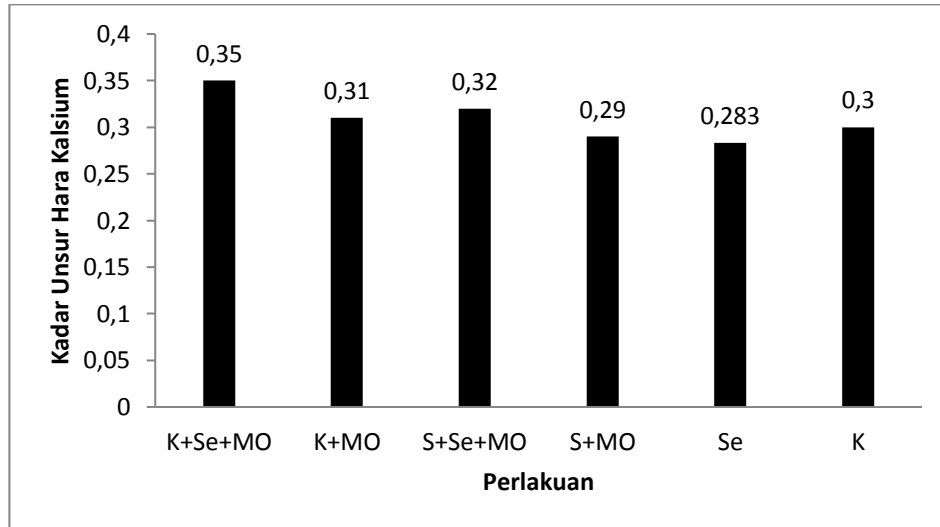
Unsur hara mikro tanah yang dianalisis adalah unsur hara kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan besi (Fe). Jenis unsur hara Mg, Na, dan Fe rata mengalami peningkatan setelah diberi perlakuan bioremediasi menggunakan gabungan isolat *Klebsiella* sp. dan *Pseudomonas* sp. dikombinasikan dengan tumbuhan fitoremediator. Unsur hara Mg rata-rata meningkat sebesar 21% setelah perlakuan fitoremediasi dan bioremediasi (Gambar 4.5.1), unsur hara Na rata-rata sebesar 19,5%, unsur hara Fe rata-rata sebesar 71% (Gambar 4.5.2), sedangkan unsur hara Ca tidak mengalami peningkatan setelah diberikan perlakuan (Gambar 4.5.3)



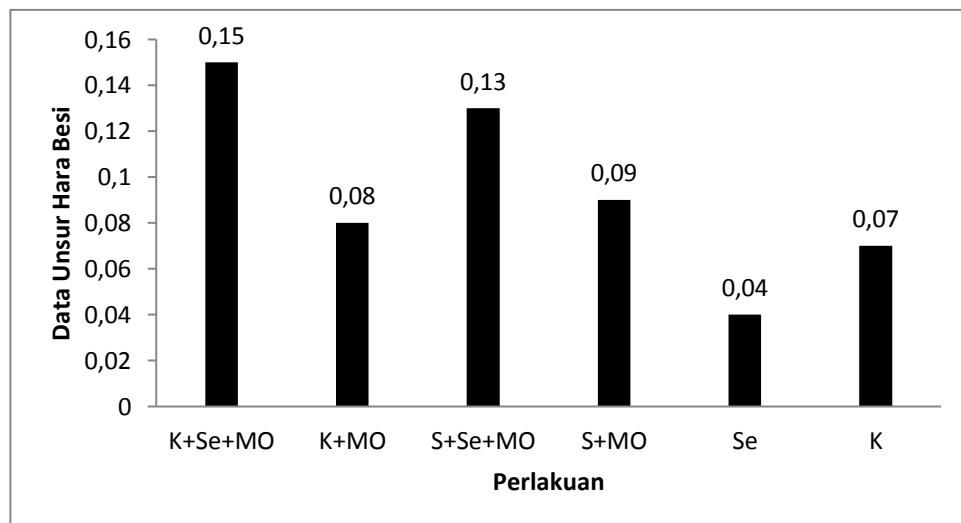
Gambar 4.5.1 Rata-rata Kadar Unsur Hara Magnesium Perlakuan



Gambar 4.5.2 Rata-rata Kadar Unsur Hara Natrium Perlakuan



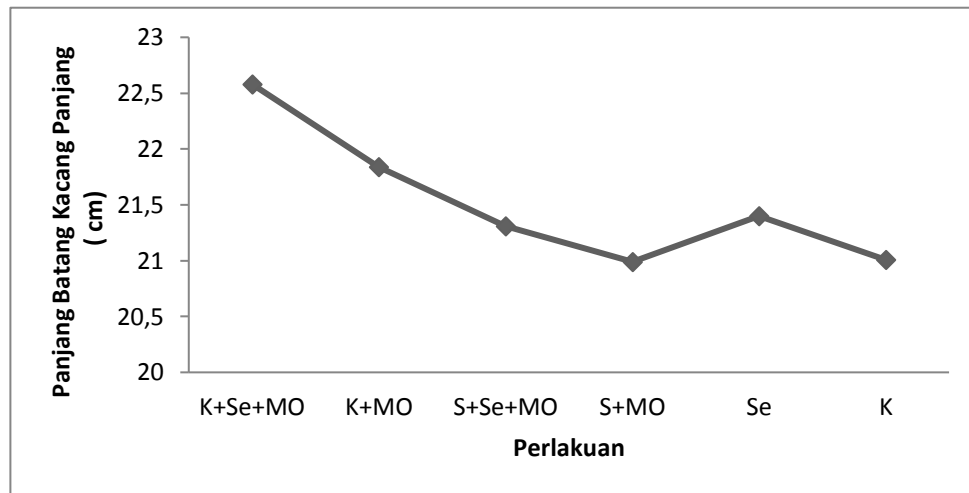
Gambar 4.5.3 Rata-rata Kadar Unsur Hara Kalsium Perlakuan



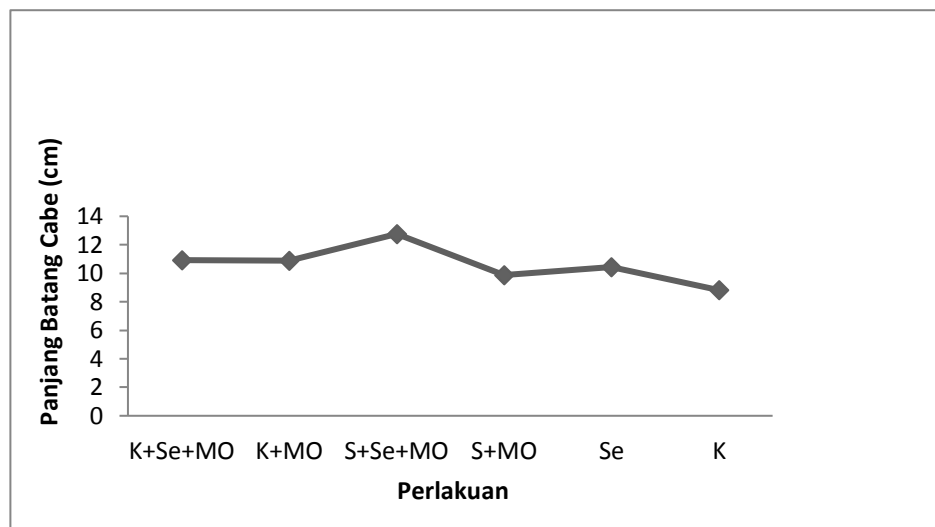
Gambar 4.5.4 Rata-rata Data Unsur Hara Besi

4.6 Data Pertumbuhan 2 Jenis Tanaman Budidaya

Dua jenis tanaman budidaya yang dipilih untuk dianalisis dalam penelitian ini adalah tanaman cabe dan tanaman kacang panjang. Kedua jenis tanaman ini dipilih karena termasuk tanaman jangka pendek yang relatif dapat beradaptasi pada kondisi panas, dan minim unsur hara. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pertumbuhan panjang tanaman kacang panjang rata-rata pada perlakuan lebih cepat dibandingkan dengan pada kontrol. Pemberian fitoremediator jenis karamunting yang dipadukan dengan isolat mikroorganisme dan seresah menghasilkan pertumbuhan kacang panjang 1 kali lebih cepat (dibandingkan dengan perlakuan yang lain (Gambar 4.6.1). Pertumbuhan tanaman cabe pada areal berpasir pasca penambangan emas, rata-rata 1,2 kali lebih cepat dibandingkan dengan kontrol (Gambar 4.6.2). Tanaman cabe yang diberikan perlakuan dengan tumbuhan sampahiring, isolat mikroorganisme, dan seresah memperlihatkan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan jenis pertumbuhan lainnya. Pertumbuhan tanaman cabe di areal pasca penambangan emas rata-rata lebih cepat dibandingkan dengan tanaman kacang panjang.



Gambar 4.6.1 Rata-rata Panjang Batang Kacang Panjang Perlakuan



Gambar 4.6.2 Rata-rata Panjang Batang Cabe Perlakuan